



TUGAS AKHIR - RE141581

**FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR KROMIUM (Cr)
MENGUNAKAN CAMPURAN TUMBUHAN**

ADZALIA ANDARISTA UTOMO
03211440000087

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScES
19540824 198403 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - RE141581

PHYTOREMEDIATION OF CHROMIUM (Cr) CONTAMINATED SOIL USING MIXED PLANTS

ADZALIA ANDARISTA UTOMO
03211440000087

Supervisor
Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScES
19540824 198403 1 001

DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

Fitoremediasi Tanah Tercemar Kromium (Cr) Menggunakan Campuran Tumbuhan

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik
pada
Program S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Adzalia Andarista Utomo
NRP. 03211440000087

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScES
NIP. 19540824 198403 1 001



FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR KROMIUM (Cr) MENGUNAKAN CAMPURAN TUMBUHAN

Nama Mahasiswa : Adzalia Andarista Utomo
NRP : 03211440000087
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo
M.ScES

ABSTRAK

Salah satu logam yang mencemari lingkungan akibat kegiatan industri adalah Kromium (Cr). Pada area industri elektroplating di Pati, Indonesia, Cr telah masuk dalam area tanah hingga 27,7 mg/kg. Pencemaran Cr perlu ditanggulangi karena Cr dapat dikategorikan berbahaya karena dapat menyebabkan kanker dan gangguan metabolisme pada manusia. Salah satu metode penyisihan Cr merupakan fitoremediasi. Fitoremediasi dilakukan dengan memanfaatkan tumbuhan hiperakumulator lokal. *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina* merupakan beberapa tumbuhan lokal yang dapat digunakan sebagai tumbuhan hiperakumulator. Penelitian ini menentukan kemampuan campuran tumbuhan *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina* dalam meremediasi Cr. Selain itu, penelitian ini juga menentukan pengaruh keberadaan pencemar Cr dan pengaruh penambahan glukosa ($C_6H_{12}O_6$) di tanah tercemar Cr pada laju respirasi mikroorganisme di media tanah. Variasi campuran tumbuhan yang digunakan yaitu dengan pengaturan penanaman tumbuhan secara tunggal dan campuran. Parameter yang diuji adalah laju respirasi mikroorganisme di tanah dengan CO_2 meter, konsentrasi pencemar Cr dalam tanah, konsentrasi pencemar Cr dalam masing-masing tumbuhan. Variabel yang digunakan yaitu jenis tumbuhan; variasi tumbuhan dalam 1 pot; penambahan glukosa ($C_6H_{12}O_6$) pada media tanah.

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan CO_2 meter untuk mengukur laju respirasi mikroorganisme dalam media tanah dan alat uji yang digunakan

yaitu *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) untuk mengukur kandungan Cr pada tanah dan tumbuhan. CO₂ meter yang digunakan memiliki prinsip kerja yang memanfaatkan sensor NDIR (*non-dispersive infrared*) melalui pengukuran absorbansi karakteristik panjang gelombang.

Hasil penelitian menunjukkan adanya kemampuan penyisihan Cr oleh campuran tumbuhan *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina* ditinjau dari produksi CO₂ pada tanah. Selain itu dari hasil pengukuran CO₂ juga didapatkan adanya pengaruh penambahan C₆H₁₂O₆ pada aktivitas mikroba di tanah. Campuran tumbuhan juga mampu meremoval Cr dalam tanah hingga 74%.

Kata Kunci: campuran tumbuhan, fitoremediasi, kromium (Cr), CO₂, tanah

PHYTOREMEDIATION OF CHROMIUM (Cr) CONTAMINATED SOIL USING MIXED PLANTS

Name : Adzalia Andarista Utomo
NRP : 03211440000087
Departement : Teknik Lingkungan
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo
M.ScES

ABSTRACT

One of the metals that can pollute the environment due to industrial activity is Chromium (Cr). In Indonesia, Cr has polluting the soil up to 27,7 mg/kg. The pollution of Cr categorized as a dangerous pollutant because it can cause cancer and nuisance of metabolism to human. One of the method for eliminating Cr pollution is fitoremediation. Fitoremediation is done by using local hyperaccumulator plants, thus in this research the chosen plants are *Helianthus annus*, *Zinnia elegans*, and *Impatiens balsamina*. This research determines the ability of mixed plants between *Helianthus annus*, *Zinnia elegans*, and *Impatiens balsamina* in remediating Cr. This research also determines the impact of Cr pollutant and the impact of adding glucose ($C_6H_{12}O_6$) to the soil that polluted by Cr due to the respiration rate of microorganism in soil media. The variation of mixed plants that used in this research is using the single and mixed variation. Parameter that used in this research are respiration rate of microorganism in soil using CO_2 meter, the concentration of Cr pollution in soil, and the concentration of Cr pollutant in each plants. Variabel that used in this research are the variation of plants type, the variation of plants in one pot, the variation of glucose ($C_6H_{12}O_6$) added in soil media.

The method that used in this research is using CO_2 meter to measure the respiration rate of microorganism in soil media. The equipment used in this research is *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) for measuring Cr contained in soil and plant. CO_2 meter that used in this research has the principal that utilize the NDIR (*non-dispersive infrared*) sensor by measuring the absorbance with the wave-length characteristic.

The result of this research is showing the ability of eliminating Cr by the mixed plants between *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, and *Impatiens balsamina* due to CO₂ production in soil. Beside that, from the result of CO₂ measuring, it is known that there is impacts of adding the Cr pollutant and C₆H₁₂O₆ from the activity of microbes in soil. Mixed plants can also remove 74% Cr in polluted soil.

Key words: mixed plants, fitoremediation, chromium (Cr), CO₂, soil

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan pada Allah SWT karena atas Rahmat dan karunia-Nya saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “Fitoremediasi Tanah Tercemar Kromium (Cr) Menggunakan Campuran Tumbuhan”.

Atas bimbingan dan pengarahan yang telah diberikan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini, saya menyampaikan terima kasih kepada,

1. Bapak Prof. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MscES selaku dosen pembimbing tugas akhir atas kesediaan, kesabaran, bimbingan dan ilmu yang diberikan
2. Bapak Dr. Ir. Irwan Bagyo Santoso, MT; Bapak Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT; Bapak Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT; Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., PhD; dan Bapak Alfian Purnomo, ST., MT selaku dosen pengarah tugas akhir atas saran serta bimbingannya
3. Keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa untuk kelancaran tugas akhir ini
4. Ibu Hurun In, Bapak Hadi Sutrisno, dan Bapak Edi selaku laboran Teknik Lingkungan yang senantiasa membantu dan memfasilitasi ketika di laboratorium
5. Teman-teman angkatan 2014 dan teman-teman Imajaya yang selalu memberikan semangat dan siap membantu.

Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu saya menerima saran agar penulisan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	I
ABSTRACT	III
KATA PENGANTAR	V
DAFTAR ISI	VII
DAFTAR TABEL	IX
DAFTAR GAMBAR.....	XI
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Ruang Lingkup	3
1.5. Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Logam Berat	5
2.2 Keberadaan Cr dalam Tanah	5
2.3 Pencemaran Cr.....	6
2.4 Fitoremediasi	6
2.5 Tumbuhan Hiperakumulator	10
2.6 Aktivitas Mikroba dalam Tanah	14
BAB III METODE PENELITIAN	15
3.1. Kerangka Penelitian.....	15
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.3. Tahap Penelitian	18
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1. Range Finding Test (RFT)	25
4.2. Aklimatisasi Tumbuhan	31
4.3. Penelitian Utama.....	31
BAB V KESIMPULAN.....	53
5.1. Kesimpulan	53
5.2. Saran.....	53

DAFTAR PUSTAKA.....55
BIOGRAFI PENULIS.....89

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu Tentang Penyisihan Limbah Penyamakan Kulit Cr.....	9
Tabel 3. 1 Variasi Penanaman Tumbuhan Uji.....	22
Tabel 4. 1 Jumlah Biji Tumbuh pada Masing-masing reaktor per Hari.....	26
Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran CO ₂ Rata-rata Reaktor.....	34
Tabel 4. 3 Hasil Pengurangan CO ₂ Rata-rata Reaktor	37
Tabel 4. 4 Hasil Uji AAS Reaktor Satu Jenis Tumbuhan	48
Tabel 4. 5 Hasil Uji AAS Reaktor Campuran Dua Jenis Tumbuhan	49
Tabel 4. 6 Hasil Uji AAS Reaktor Campuran Tiga Jenis Tumbuhan	51

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Siklus Cr di Lingkungan.....	8
Gambar 2. 2 Bunga Matahari	11
Gambar 2. 3 Bunga Kertas.....	12
Gambar 2. 4 Bunga Pacar Air	13
Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian	18
Gambar 3. 2 CO ₂ Meter.....	20
Gambar 4. 1 Reaktor RFT	25
Gambar 4. 2 Presentase Hidup Tumbuhan.....	29
Gambar 4. 3 Rata-rata Presentase Hidup Kumulatif Tumbuhan	30
Gambar 4. 4 Tumbuhan Pada Tahap Aklimatisasi	31
Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO ₂ pada reaktor <i>Helianthus annuus</i>	39
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO ₂ pada reaktor <i>Impatiens balsamina</i>	40
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO ₂ pada reaktor <i>Zinnia elegans</i>	40
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO ₂ pada reaktor <i>Helianthus annuus</i> , <i>Impatiens balsamina</i>	41
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO ₂ pada reaktor <i>Helianthus annuus</i> , <i>Zinnia elegans</i>	41
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO ₂ pada reaktor <i>Impatiens balsamina</i> , <i>Zinnia elegans</i>	42
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO ₂ pada reaktor <i>Helianthus annuus</i> , <i>Impatiens balsamina</i> , <i>Zinnia elegans</i>	42
Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO ₂ Rata-rata pada reaktor dengan 1 jenis tumbuhan	43
Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO ₂ Rata-rata pada reaktor dengan 2 jenis tumbuhan	43
Gambar 4. 14 Rata-rata Kadar Air Reaktor Tanpa Tumbuhan ...	46
Gambar 4. 15 Rata-rata Kadar Air Reaktor dengan 1 (satu) jenis tumbuhan	46
Gambar 4. 16 Rata-rata Kadar Air Reaktor dengan Campuran 2 (dua) jenis tumbuhan.....	47
Gambar 4. 17 Rata-rata Kadar Air Reaktor <i>Helianthus annuus</i> , <i>Impatiens balsamina</i> dan <i>Zinnia elegans</i> (Campuran 3 Jenis Tumbuhan)	47

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Logam berat merupakan salah satu unsur yang secara alami tersedia di lingkungan. Tidak seperti zat organik, logam berat tidak dapat terbiodegradasi sehingga terakumulasi di lingkungan. Pencemaran logam berat menjadi permasalahan yang serius akibat meningkatnya jumlah industri dan gangguan pada siklus biogeokimia. Logam berat masuk ke dalam lingkungan melalui sumber-sumber alami dan antropogenik. Sumber-sumber alami yang paling penting yaitu pelapukan mineral, erosi dan aktivitas vulkanik sedangkan sumber-sumber antropogenik di antaranya adalah pertambangan, peleburan, elektroplating, pembuangan lumpur, pembuangan industri, dan lain-lain (Ali dkk, 2013).

Salah satu logam berat yang dihasilkan oleh sumber antropogenik dan dapat mencemari tanah adalah kromium (Cr). Pencemaran Cr dapat dihasilkan dari kegiatan penyamakan kulit, industri baja, dan *fly ash* (Khan dkk, 2007). Walaupun Cr dalam konsentrasi rendah dapat meningkatkan pertumbuhan tumbuhan, kelebihan konsentrasi Cr pada hewan dan tumbuhan sangat beracun serta dapat menyebabkan kanker dan teratisme (Shanker dkk, 2005).

Metode yang memungkinkan dilakukan untuk mengatasi masalah pencemaran Cr adalah dengan menggunakan tumbuhan yaitu fitoremediasi. Metode fitoremediasi memiliki potensi lebih karena memiliki keunggulan sebagai metode yang ekonomis dan ramah lingkungan (Zhang dkk, 2007). Tumbuhan yang dapat digunakan dalam fitoremediasi sebaiknya bersifat mudah didapatkan serta mudah untuk tumbuh. Menurut Yoon dkk (2006) dan Lorestani dkk (2011), tumbuhan lokal dapat memiliki kemampuan sebagai tumbuhan hiperakumulator. Pada penelitian ini digunakan tumbuhan-tumbuhan lokal yang mudah tumbuh dan didapatkan di Surabaya, yaitu Bunga Matahari (*Helianthus annuus*), Bunga Kertas (*Zinnia elegans*), dan Bunga Pacar Air (*Impatiens balsamina*) baik dengan pengaturan penanaman secara individu maupun campuran. Campuran penanaman tumbuhan dilakukan

untuk menentukan kombinasi yang efektif dalam proses penyisihan Cr dengan metode fitoremediasi.

Dalam Setyorini dkk (2006) disebutkan bahwa mikroorganisme yang terdapat pada tanah memiliki pengaruh besar pada pertumbuhan tumbuhan. CO₂ hasil respirasi mikroorganisme sebagai salah satu bahan fotosintesis tumbuhan. Aktivitas mikroorganisme dalam tanah juga mampu menghasilkan hormon-hormon pertumbuhan yaitu auksin, giberelin, dan sitokinin yang mampu memacu pertumbuhan dan perkembangan akar sehingga daerah pencarian makanan lebih luas. Dengan penambahan bahan organik, biomassa mikroorganisme meningkat sehingga dapat merangsang peningkatan aktivitas mikroorganisme. Penelitian ini juga menguji pengaruh penambahan bahan organik pada aktivitas mikroba dalam media tanah yang digunakan. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat ditentukan kemampuan campuran tumbuhan untuk menyisihkan Cr dalam tanah.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan pada penelitian fitoremediasi tanah tercemar Cr menggunakan campuran tumbuhan (*Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina*) ini yaitu seberapa besar kemampuan penyisihan pencemar Cr oleh campuran tumbuhan serta bagaimanakah pengaruh keberadaan pencemar Cr dan pengaruh penambahan bahan organik glukosa (C₆H₁₂O₆) pada respirasi mikroorganisme dalam tanah yang digunakan sebagai media tumbuh campuran tumbuhan.

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kemampuan penyisihan Cr pada tanah tercemar oleh campuran tumbuhan.
2. Menentukan pengaruh keberadaan pencemar Cr pada respirasi mikroorganisme dalam tanah yang digunakan sebagai media tumbuh campuran tumbuhan.
3. Menentukan pengaruh penambahan glukosa (C₆H₁₂O₆) pada respirasi mikroorganisme dalam tanah tercemar Cr

yang digunakan sebagai media tumbuh campuran tumbuhan.

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian ini yaitu:

1. Tumbuhan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina*.
2. Tanah yang digunakan adalah tanah pupuk organik.
3. Limbah Cr yang digunakan adalah limbah buatan dalam bentuk $K_2Cr_2O_7$.
4. Parameter yang diuji adalah:
 - respirasi mikroorganisme di tanah dalam bentuk CO_2 (ppm) menggunakan CO_2 meter,
 - konsentrasi pencemar Cr dalam tanah,
 - konsentrasi pencemar Cr dalam masing-masing tumbuhan.
5. Variabel yang digunakan:
 - jenis tumbuhan: *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina*,
 - kombinasi tumbuhan dalam 1 reaktor,
 - penambahan glukosa ($C_6H_{12}O_6$) pada media tanah.
6. Penelitian dilakukan dengan 3 (tiga) kali pengulangan.
7. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium yang akan dilakukan di Laboratorium Remediasi Lingkungan Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS dan Rumah Kaca Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS selama 2 (dua) bulan.

1.5. Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai salah satu alternatif pengolahan yang dapat digunakan untuk menyisihkan kandungan Cr pada tanah tercemar.
2. Sebagai dasar dari penelitian lanjutan yang berkaitan dengan fitoremediasi tanah tercemar Cr menggunakan campuran tumbuhan *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Berat

Logam berat merupakan unsur-unsur kimia dengan densitas lebih besar dari 5 gr/cm^3 . Logam berat umumnya bersifat racun terhadap makhluk hidup, walaupun beberapa diantaranya diperlukan dalam jumlah kecil. Melalui berbagai perantara, seperti udara, makanan, maupun air yang terkontaminasi oleh logam berat, logam tersebut dapat terdistribusi ke bagian tubuh manusia dan sebagian akan terakumulasi. Akumulasi logam berat pada tanah dan air dapat menimbulkan risiko pada kesehatan lingkungan maupun kesehatan manusia. Di tanah, logam berat menyebabkan efek toksikologi, yang dapat mengakibatkan penurunan jumlah dan aktivitas pada mikroba tanah (Khan dkk, 2010).

2.2 Keberadaan Cr dalam Tanah

Cr dapat ditemukan pada lingkungan dalam berbagai fase, yaitu diantaranya dalam udara, air, dan tanah. Secara alami Cr terkandung dalam tanah, berkisar antara 10 hingga 50 mg/kg, berdasarkan sumber asalnya (Shanker dkk, 2005). Cr adalah elemen pertama pada grup VIB pada tabel periodik dengan nomor atom 24 dan massa molekul relatif 51.99. Kromium diberi lambang Cr dan memiliki 6 valensi mulai dari -2 sampai +6 (APHA, AWWA, 2002). Cr (III) secara alami terdapat di alam, sedangkan Cr dan Cr (VI) umumnya dihasilkan oleh limbah industri. Cr merupakan logam yang keras, berkilauan, berwarna perak keabu-abuan (Arinda, 2013). Cr dapat mencemari lingkungan udara, air, dan tanah yang secara umum berupa Cr (III) dan Cr (VI). Cr terdapat dalam tanah dengan rata-rata konsentrasi 0,1-250 ppm, namun umumnya konsentrasi Cr dalam tanah adalah 50 ppm (Revanthi dkk, 2010).

Cr dalam bentuk hexavalent dianggap sebagai ancaman terbesar karena kelarutannya yang tinggi dan memiliki kemampuan penetrasi terhadap membran sel (Badr dkk, 2012). Cr

mudah menembus membran sel dan akan mengalami reduksi di dalam sel. Organ utama yang terserang karena terhisapnya Cr adalah paru-paru, dan organ lain yang dapat terserang adalah ginjal, liver, kulit dan sistem imunitas. Dampak kesehatan yang diakibatkan oleh Cr diantaranya yaitu kerusakan pada fisiologi, kulit, saluran pernapasan, ginjal dan hati, bersifat karsinogenik, dan mengganggu pertumbuhan dan reproduksi pada manusia (Candra dkk, 2007).

2.3 Pencemaran Cr

Cr beserta senyawa-senyawanya memiliki beragam kegunaan dalam industri. Cr dan senyawa-senyawanya banyak digunakan dalam proses pengolahan dan finishing industri kulit, dalam produksi baja tahan api, lumpur pengeboran, agen pembersih elektroplating, pembuatan katalitik dan dalam produksi asam kromat serta bahan kimia khusus. (Shanker dkk, 2005). Terdapat beberapa kasus pencemaran Cr di Indonesia. Diantaranya pencemaran di area persawahan di Kecamatan Juwana, Kabupaten Pati, Jawa Tengah dari sebuah industri elektroplating yang mengandung Cr sebesar 6,0-27,7 mg/kg pada tanahnya. Pencemaran juga terjadi di area persawahan di Rancaekek, Kabupaten Bandung, Jawa Barat telah tercemar industri tekstil mengandung Cr sebesar 13 mg/kg pada tanahnya (Kurnia, 2003). Dibandingkan dengan perkiraan nilai ambang batas bahaya konsentrasi kromium pada tanah atau limbah padat berdasarkan AMEG (Ambient Multimedia Environmental Goals) USA sebesar 10 mg/kg (Notodarmojo, 2005) maka pencemaran Cr yang terjadi di Pati dan Bandung sudah terlampaui tinggi.

2.4 Fitoremediasi

Fitoremediasi merupakan salah satu proses pemulihan lingkungan tercemar dengan menggunakan tumbuhan. Proses Fitoremediasi secara umum melibatkan keseluruhan fitoproses. Terdapat tiga fitoproses yang berlangsung dalam tanah yaitu fitostabilisasi (hiperakumulasi), rizofiltrasi (fitoimobilisasi), dan rizodegradasi (penguatan biodegradasi rizosfer) (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010).

Fitostabilisasi adalah proses imobilisasi kontaminan dalam tanah. Naiknya kontaminan diakibatkan oleh aliran air tanah melalui proses kapiler (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010). Fitostabilisasi menggunakan tumbuhan untuk mereduksi mobilitas logam berat yang dilakukan di zona akar. Setelah proses imobilisasi terjadi kontaminan diadsorpsi dan terakumulasi pada akar tumbuhan. Faktor yang mempengaruhi dalam fitostabilisasi antara lain erosi tanah dan aliran air permukaan (ITRC, 2001)

Rizofiltrasi merupakan proses adsorpsi atau presipitasi kontaminan pada akar atau penyerapan ke dalam akar. Proses adsorpsi merupakan ikatan ionik, karena itu proses ini terjadi pada kontaminan dengan perbedaan muatan ion pada akar. Proses sedimentasi dapat terjadi karena koagulasi kontaminan dan juga kondisi pH air tanah. Dengan demikian, kontaminan yang telah mengendap terikat dalam zona akar, dalam kondisi tanah basa.

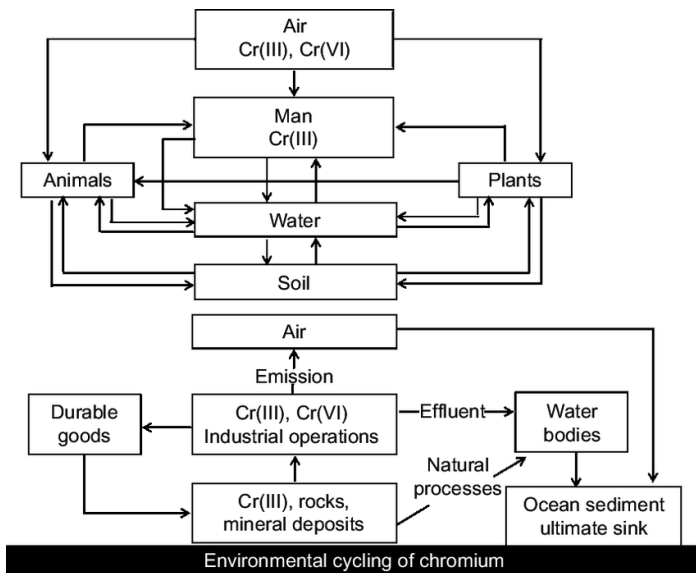
Rizodegradasi adalah proses penguraian kontaminan dalam tanah oleh aktivitas mikroba. Mikroba hidup dalam zona akar dari pasokan sumber karbon organik dari tumbuhan ($C_6H_{12}O_6$), asam amino, protein, alkohol, vitamin; yang dikenal sebagai eksudat akar tumbuhan. Kontaminan yang menjalani proses mikrobiologis adalah kontaminan organik yang mudah terurai mikrobiologis, yang dapat teroksidasi sebagai BOD, serta kontaminan anorganik misalnya amonium dan nitrit, dan juga logam berat (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010).

2.4.1 Fitoremediasi Cr di Tanah

Cr merupakan logam berat yang tidak esensial bagi tanaman. Tanaman dapat menyerap Cr dalam bentuk Cr (III) atau Cr (VI), di mana penyerapan Cr (VI) lebih banyak daripada Cr (III). Keduanya diserap melalui mekanisme berbeda: Cr (VI) melalui lintasan sulfat, sedangkan Cr (III) diserap secara pasif. Cr (VI) masuk dalam jalur sulfat yang dimungkinkan karena struktur Cr yang mirip dengan SO_4^{2-} sehingga Cr (VI) mudah diserap. Selain sulfat, Cr (VI) juga dapat bergabung dengan mekanisme sistem unsur besi (Fe), belerang (S), dan fosfor (P). Sementara untuk Cr (III), penyerapan oleh tanaman terjadi secara pasif melalui pertukaran kation pada dinding sel. Hal ini menyebabkan konsentrasi Cr (VI) lebih tinggi terserap dalam tanaman daripada Cr(III). Toksisitas Cr pada tanaman

menyebabkan pertumbuhannya lambat atau terhambat (Balitbangtan, 2012).

Fitoremediasi didefinisikan sebagai pencucian polutan yang dimediasi oleh tumbuhan, termasuk pohon, rumput-rumputan, dan tumbuhan air. Pencucian bisa berarti penghancuran, inaktivasi atau imobilisasi polutan ke bentuk yang tidak berbahaya. Fitoremediasi juga berlandaskan pada kemampuan tumbuhan dalam menstimulasi aktivitas biodegradasi oleh mikrob yang berasosiasi dengan akar (*phytostimulation*) dan imobilisasi kontaminan di dalam tanah oleh eksudat dari akar (*phytostabilization*) serta kemampuan tumbuhan dalam menyerap logam dari dalam tanah dalam jumlah besar dan secara ekonomis digunakan untuk meremediasi tanah yang bermasalah (*phytomining*) (Chaney et al. 1995).



Gambar 2. 1 Siklus Cr di Lingkungan

2.4.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang fitoremediasi limbah krom pada industri penyamakan kulit telah banyak dilakukan. Rangkuman terkait

tanaman yang digunakan, media tanam, durasi, dan kadar krom dalam media terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu Tentang Penyisihan Limbah Penyamakan Kulit Cr

No	Referensi	Tumbuhan	Media	Durasi	Konsentrasi Cr dalam Media
1	Bareen dan Tahira, 2011	<i>S. Fruticosa</i>	Tanah terkontaminasi limbah cair penyamakan kulit	4 bulan	19,5 mg/kg
2	Giachetti dan Sebastiani, 2006	<i>Populus x euramericana clone I-224</i>	Tanah dicampur lumpur penyamakan kulit	11 bulan	32 ppm
3	Ashokkumar dkk, 2014	<i>Eclipta, Alba</i>	Tanah terkontaminasi Cr	60 hari	5,7 ppm
4	Girdhar dkk, 2014	<i>Cannabis sativa, Solanumnigrum dan Chenopodium album</i>	Tanah dan air terkontaminasi Cr	15 hari	350 ppm
5	Mandi, Tiglyene, dan Jaouad, 2009)	<i>Phragmites australis</i>	Tanah terkontaminasi limbah cair penyamakan kulit	13 bulan	780 ppm

No	Referensi	Tumbuhan	Media	Durasi	Konsentrasi Cr dalam Media
6	Pandey dkk, 2015	<i>Cymbopogon martinii</i>	Tanah dicampur lumpur penyamakan kulit	50 hari	3,5-1383 ppm
7	Patel dan Patra, 2014	<i>Tagetes minuta</i>	Tanah dicampur lumpur penyamakan kulit	90 hari	30512 ppm
8	Patel dan Patra, 2015	<i>Pelargonium graveolens</i>	Tanah dicampur lumpur penyamakan kulit	90 hari	30512 ppm

Sumber: Sholeh dan Griyanitasari, 2016.

2.5 Tumbuhan Hiperakumulator

Semua tumbuhan memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah yang bervariasi. Sejumlah tumbuhan dari banyak famili terbukti memiliki sifat hipertoleran, yakni mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, sehingga bersifat hiperakumulator. Sifat hiperakumulator berarti dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya dan dapat digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Dalam proses fitoekstraksi ini logam berat diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen. (Chaney et al, 1995).

Dalam Vamerali dkk (2010) disebutkan bahwa untuk menentukan tumbuhan yang dapat digunakan dalam fitoremediasi diperlukan tumbuhan yang memiliki sifat:

1. Cepat tumbuh dan memiliki biomassa tinggi.

2. Mampu mengkonsumsi air dalam jumlah yang banyak pada waktu yang singkat.
3. Memiliki sistem perakaran yang panjang.
4. Mampu meremediasi lebih dari satu polutan.
5. Toleransi yang tinggi terhadap polutan dan mampu bertahan dengan tingginya konsentrasi polutan dalam jaringan tanaman.

Berdasarkan uraian karakteristik tumbuhan hiperakumulator diatas, dipilih 3 tumbuhan sebagai tumbuhan uji yaitu *Helianthus annuus*, *Zinnia Elegans*, dan *Impatiens balsamina*.

2.5.1. Bunga Matahari (*Helianthus annuus*) Sebagai Tumbuhan Hiperakumulator

Bunga matahari merupakan tanaman yang memiliki beberapa manfaat diantaranya sebagai bahan membuat sabun, lilin, pernis, cat serta pelumas dan tergolong tanaman hiperakumulator yang bersifat toleran terhadap kontaminan. Bunga matahari merupakan tanaman cepat tumbuh dengan produksi biomasa yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan untuk fitoremediasi (penyerapan) logam-logam beracun (Cu, Zn, Pb, Hg, As, Cd, Ni) pada tanah yang terkontaminasi (Jadia dan Fulekar, 2008). Bunga matahari juga mampu mengakumulasi Cr sebesar 369,15 hingga 3334 mg Cr/ kg berat kering pada bagian akar dan 164,47-995,15 mg Cr/ kg berat kering pada bagian batang-daun (Fadhilah, 2014).



Gambar 2. 2 Bunga Matahari

Berikut merupakan morfologi *Helianthus annuus*:
Kingdom : *Plantae*

Divisi	: <i>Magnoliopyta</i>
Kelas	: <i>Magnoliopsida</i>
Ordo	: <i>Asterales</i>
Famili	: <i>Astereceae</i>
Genus	: <i>Helianthus</i>

2.5.2. Bunga Kertas (*Zinnia Elegans*) Sebagai Tumbuhan Hiperakumulator

Zinnia elegans merupakan bunga yang berasal dari Meksiko. Walaupun berasal dari Meksiko, bunga ini termasuk yang mudah dibudidayakan di Indonesia sebagai tanaman hias. Bunga kertas termasuk dalam suku *Asteraceae*. Bunga kertas yang ditemukan di Indonesia pada umumnya memiliki bentuk dengan bunga pita satu lapis (tidak pompom) dan berwarna krem atau pink tua.

Genus *Zinnia* adalah salah satu dari famili *Asteraceae*. Famili ini memiliki anggota dengan jumlah 19 spesies yang terdiri dari tanaman yang bersifat annual dan perennial. Genus *Zinnia* dibagi menjadi dua subgenera, yakni *Diplothrix* dan *Zinnia*. Subgenus *Diplothrix* sendiri terdapat enam spesies. *Zinnia elegans* memiliki sinonim yakni *Zinnia violacea*. Genus *Zinnia* memiliki kromosom $n = 12$. *Zinnia elegans* merupakan tanaman yang sering dikembangkan karena memiliki nilai ekonomi (McVaugh, 1984; Torres, 1963).



Gambar 2. 3 Bunga Kertas

Adapun Klasifikasi Kembang Kertas (*Zinnia elegans* Jaqc.) menurut Plantamor (2012) adalah sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Magliophyta</i>
Kelas	: <i>Magnoliopsida</i>

Ordo : *Asterales*
Famili : *Asteraceae*
Genus : *Zinnia*

2.5.3. Bunga Pacar Air (*Impatiens balsamina*) Sebagai Tumbuhan Hiperakumulator

Pacar air (*Impatiens balsamina* L.) adalah tumbuhan yang berasal dari Asia Selatan dan Asia Tenggara. Tumbuhan pacar air cukup mudah ditemui di Indonesia. Tumbuhan ini adalah tanaman tahunan atau dua tahunan dan memiliki bunga yang berwarna putih, merah, ungu, atau merah jambu. Bentuk bunganya menyerupai bunga anggrek yang kecil. Tinggi tumbuhan ini bisa mencapai satu meter dengan batangnya yang tebal namun tidak mengayu dan daunnya yang bergerigi tepinya.

Pacar air juga dikenal sebagai bunga balsam yang merupakan tumbuhan semusim, berakar serabut, berbatang basah, bulat, licin, tegak, bercabang, warnanya hijau kekuningan dan biasa ditanam di halaman sebagai tanaman hias atau tumbuhan liar ditempat yang cukup mendapat air dan sinar matahari.



Gambar 2. 4 Bunga Pacar Air

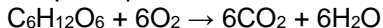
Berikut merupakan morfologi *Impatiens balsamina*:

Kingdom : *Plantae*
Divisi : *Magnoliophyta*
Kelas : *Magnoliopsida*
Ordo : *Ericales*
Famili : *Balsaminaceae*
Genus : *Impatiens*

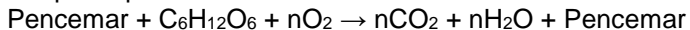
2.6 Aktivitas Mikroba dalam Tanah

Tanah kompos banyak mengandung mikroorganisme. Dengan adanya penambahan kompos dalam tanah tidak hanya jutaan mikroorganisme yang ditambahkan, akan tetapi mikroorganisme yang ada dalam tanah juga terpacu untuk berkembang. Gas CO₂ yang dihasilkan mikroorganisme tanah akan dipergunakan untuk fotosintesis tumbuhan, sehingga pertumbuhan tumbuhan tersebut akan lebih cepat. Amonifikasi, nitrifikasi, dan fiksasi nitrogen juga meningkat karena pemberian bahan organik sebagai sumber karbon yang terkandung dalam kompos. Aktivitas berbagai mikroorganisme dalam kompos menghasilkan hormon-hormon pertumbuhan, misalnya auksin, giberelin, dan sitokinin yang memacu pertumbuhan dan perkembangan akar-akar rambut sehingga daerah penyerapan makanan lebih luas (Setyorini dkk, 2007). Berikut merupakan respirasi mikrobiologis pada tanah, dalam tanah tanpa adanya pencemar dan dengan adanya pencemar menurut Mangkoedihardjo dan Samudro (2010):

Respirasi pada tanah tidak tercemar:



Respirasi pada tanah tercemar:



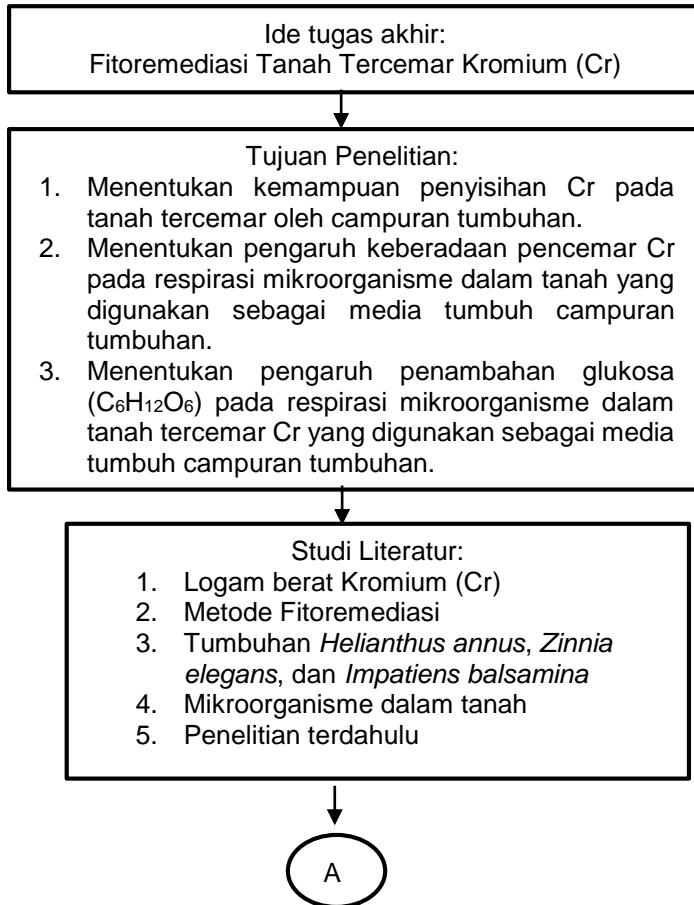
BAB III METODE PENELITIAN

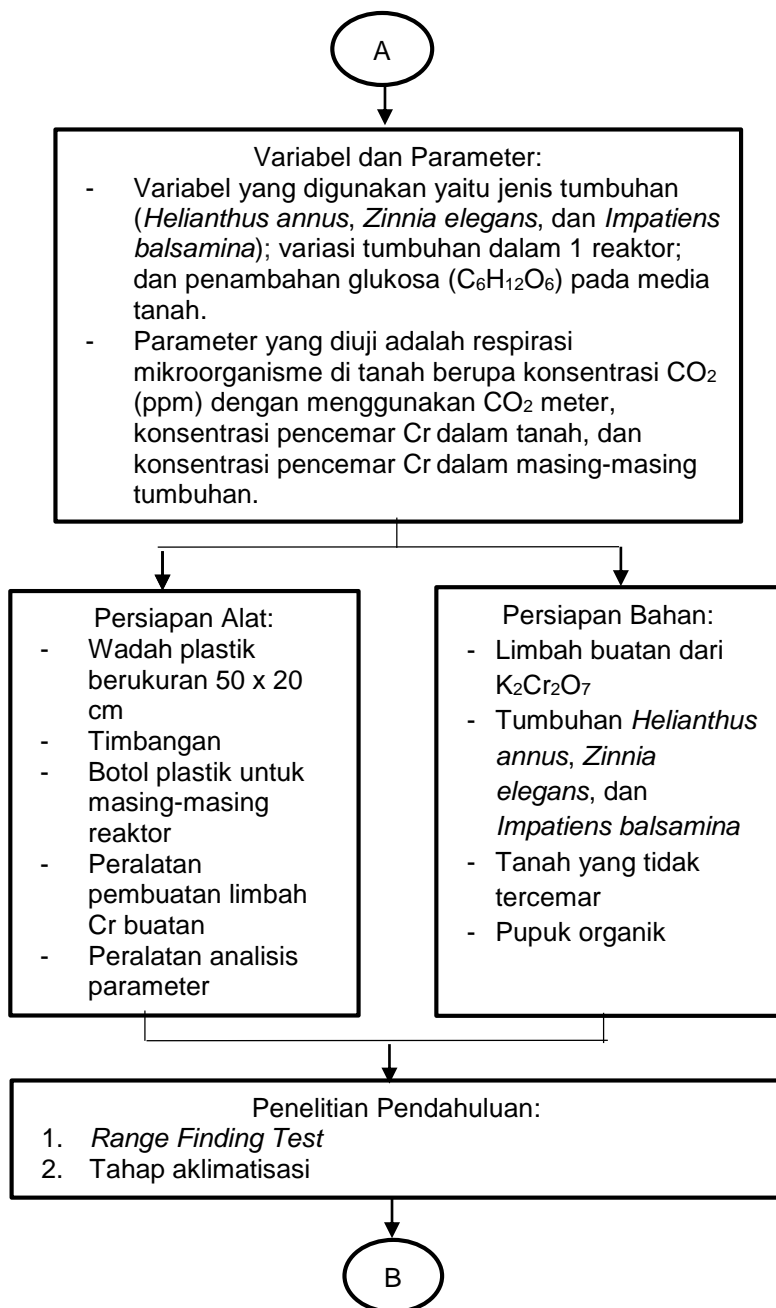
Bab metode penelitian ini disusun sebagai acuan dalam melakukan penelitian. Penelitian yang dilakukan adalah Fitoremediasi Tanah Tercemar Kromium (Cr) Menggunakan Campuran Tumbuhan. Penelitian ini menentukan kemampuan campuran tumbuhan *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina* dalam meremediasi Cr. Selain itu, penelitian ini juga menentukan pengaruh keberadaan pencemar Cr dan pengaruh penambahan glukosa ($C_6H_{12}O_6$) di tanah tercemar Cr pada respirasi mikroorganisme di media tanah. Variasi campuran tumbuhan yang digunakan yaitu dengan pengaturan yang dijelaskan pada Tabel 3.1. Pada penelitian ini digunakan 3 kali pengulangan masing-masing variasi penanaman tumbuhan dengan tujuan sebagai cadangan apabila terdapat sesuatu hal yang tidak dikehendaki dan juga sebagai pembanding hasil analisa. Parameter yang diuji adalah respirasi mikroorganisme di tanah dengan menggunakan CO_2 meter, konsentrasi pencemar Cr dalam tanah, konsentrasi pencemar Cr dalam masing-masing tumbuhan. Variabel yang digunakan: jenis tumbuhan yaitu *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina*; variasi tumbuhan dalam 1 reaktor, penambahan glukosa ($C_6H_{12}O_6$) pada media tanah. Metode uji yang digunakan adalah menggunakan CO_2 meter yang prinsip kerjanya dengan memanfaatkan sensor NDIR (*non-dispersive infrared*) untuk mengukur respirasi mikroorganisme dalam media tanah dan alat uji yang digunakan yaitu *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) untuk mengukur kandungan Cr pada tanah dan tumbuhan. Penelitian dilakukan di Laboratorium Remediasi Lingkungan Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS.

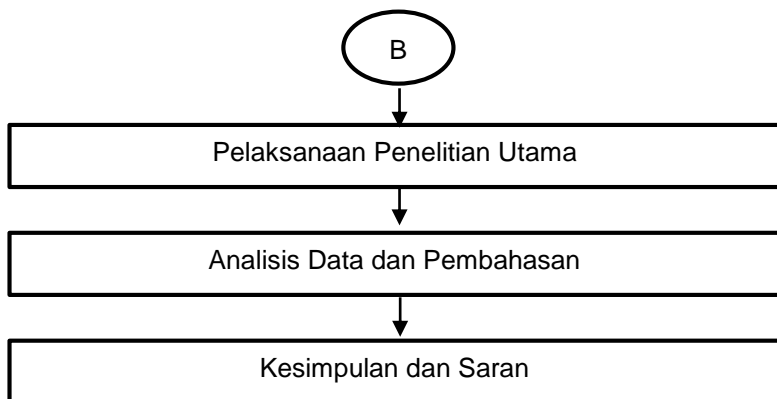
3.1. Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan alur jalannya proses penelitian yang berupa langkah-langkah yang akan dilakukan pada saat penelitian. Penyusunan kerangka penelitian bertujuan untuk mempermudah pelaksanaan penelitian dan sebagai acuan dalam

menjalankan penelitian. Kerangka penelitian disajikan pada Gambar 3.1.







Gambar 3. 1 Kerangka Penelitian

3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Remediasi Lingkungan Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS Surabaya. Reaktor diletakkan di Rumah Kaca Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS Surabaya untuk menjaga supaya tumbuhan terbebas dari hama dan hujan serta supaya mendapat sinar matahari dan oksigen yang cukup. Waktu yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah sekitar 8 minggu.

3.3. Tahap Penelitian

Tahap penelitian ini berisi tentang tahapan kerja yang akan dilakukan dalam penelitian. Uraian tahapan penelitian dijelaskan pada 3.3.1 hingga 3.3.3

3.3.1 Ide Penelitian

Ide penelitian didapat dari studi literatur terkait banyaknya pencemaran limbah logam berat di tanah. Dari permasalahan tersebut diperoleh ide penelitian yaitu 'Fitoremediasi Tanah Tercemar Kromium (Cr) Menggunakan Campuran Tumbuhan'. Penelitian ini membahas tentang kemampuan campuran tumbuhan *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens*

balsamina dalam menyisihkan Cr, hubungan keberadaan pencemar Cr dengan respirasi mikroorganisme dalam tanah, serta hubungan penambahan glukosa ($C_6H_{12}O_6$) dengan respirasi mikroorganisme dalam tanah. Digunakan variabel jenis tumbuhan yaitu *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina*; variasi tumbuhan dalam 1 reaktor; penambahan glukosa ($C_6H_{12}O_6$) pada media tanah. Sedangkan Parameter yang diuji adalah respirasi mikroorganisme di tanah berupa konsentrasi CO_2 (ppm) dengan menggunakan CO_2 meter. konsentrasi pencemar Cr dalam tanah, konsentrasi pencemar Cr dalam masing-masing tumbuhan.

3.3.2 Studi Literatur

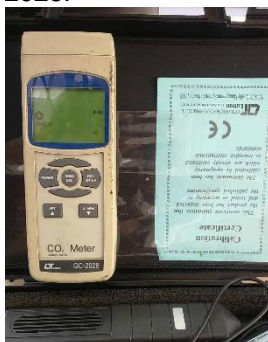
Studi literatur penelitian bertujuan untuk mendukung dan membantu ide penelitian serta meningkatkan pemahaman yang lebih jelas terhadap penelitian yang akan diteliti. Sumber literatur berasal dari peraturan, *text book*, jurnal penelitian internasional maupun nasional, makalah seminar, *review journal*, prosiding, disertasi dan tugas akhir yang berhubungan dengan penelitian. Literatur yang dibutuhkan pada penelitian ini meliputi Logam berat kromium (Cr), metode fitoremediasi, tumbuhan *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina*, mikroorganisme dalam tanah dan penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian ini.

3.3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Pada penelitian ini diperlukan alat dan bahan untuk menunjang keberlangsungan penelitian. Alat dan bahan perlu dipersiapkan terlebih dahulu supaya penelitian dapat berjalan lebih lancar teratur dan runtut.

- Persiapan Alat
 1. Reaktor proses berupa wadah plastik dengan ukuran 50 cm x 20 cm
 2. Timbangan untuk menimbang tanah, pupuk organik dan tumbuhan yang digunakan
 3. Sekop untuk mencampurkan tanah dengan pupuk organik
 4. Labu ukur, digunakan dalam pembuatan larutan stok dan larutan standar

5. Neraca analitik untuk menimbang bahan-bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan larutan maupun perhitungan berat tumbuhan
6. Penggaris untuk mengukur morfologi tumbuhan
7. AAS digunakan untuk analisis konsentrasi Cr pada tumbuhan dan tanah
8. CO₂ meter, yang memiliki prinsip kerja menggunakan sensor NDIR (*non-dispersive infrared*) merupakan sensor pendeteksi gas karbon dioksida udara melalui pengukuran absorbansi karakteristik panjang gelombang. CO₂ meter yang digunakan adalah merk Lutron tipe GC-2028.



Gambar 3. 2 CO₂ Meter

- Persiapan Bahan
 1. Tumbuhan Bunga *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina*. Masing-masing digunakan dengan umur optimum yaitu kurang lebih 2-3 bulan dengan tinggi sekitar 30 cm.
 2. Limbah Buatan Cr
Cr didapatkan dari larutan K₂Cr₂O₇. Pembuatan larutan K₂Cr₂O₇ diawali dengan pembuatan larutan stok dengan konsentrasi 500 mg/L, kemudian diencerkan hingga menjadi larutan standar dengan konsentrasi yang dibutuhkan untuk membuat media dengan konsentrasi 30 mg/kg (Lampiran I).

3. Larutan Glukosa ($C_6H_{12}O_6$)
Larutan glukosa digunakan sebagai stimulan tambahan supaya mikroorganisme dalam tanah dapat lebih aktif. Larutan glukosa dibuat dengan melarutkan glukosa 100 mg untuk 1 L air pengencer (konsentrasi glukosa 100 ppm).
4. Persiapan Media Tanam
Persiapan media tanam dilakukan dengan mencampur 8 kg tanah tanam dan tanah pupuk (perbandingan 3:1) untuk setiap reaktor. Kemudian dilakukan pengukuran karakteristik tanah yaitu pH dan suhu.

3.3.4. Penelitian Pendahuluan

Pada penelitian pendahuluan dilakukan kegiatan mengukur *growth rate* tumbuhan untuk mengetahui umur optimal masing-masing jenis tumbuhan yang digunakan. Pengukuran *growth rate* tumbuhan dilakukan dengan menanam biji tumbuhan *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina* pada media tanam, kemudian diukur pertumbuhan setiap harinya. Dipilih pertumbuhan yang paling stabil dan optimum.

Kemudian dilakukan *Range Finding Test* untuk menetapkan rentang konsentrasi maksimum logam berat yang dapat diproses secara fitoremediasi oleh tumbuhan. *Range Finding Test* dilakukan dengan menanam biji masing-masing tanaman pada kapas yang sebelumnya telah diberi pencemar Cr. Pencemar Cr yang diberikan yaitu pada 5 konsentrasi yang berbeda dengan maksimal konsentrasi 30 mg/kg, untuk setiap jenis tanaman. Dipilih konsentrasi dengan presentase hidup tumbuhan yang lebih tinggi.

Penelitian pendahuluan yang terakhir yaitu aklimatisasi. Aklimatisasi dilakukan dengan menanam tumbuhan pada lokasi penelitian yaitu rumah kaca. Tahap ini dilakukan supaya tumbuhan uji dapat menyesuaikan diri dengan tempat penelitian.

3.3.5. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menanam tumbuhan uji *Helianthus annus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina* sesuai dengan pengaturan variasi penanaman yang direncanakan. Pengaturan variasi penanaman dijelaskan pada Tabel 3.1. Pada masing-masing variasi penanaman, dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Pengulangan dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Pada penelitian ini juga dibuat reaktor kontrol tanpa tumbuhan untuk mengukur penyisihan pencemar Cr oleh mikroorganisme dalam tanah. Selain itu tujuan disediakannya reaktor kontrol adalah untuk mengetahui neraca masa pencemar Cr.

Setiap reaktor berisi 8 kg tanah taman dan pupuk organik dengan perbandingan 3:1 yang telah dicampur hingga homogen. Konsentrasi Cr yang ditambahkan sesuai dengan hasil dari *range finding test* yang sebelumnya telah dilakukan.

Tabel 3. 1 Variasi Penanaman Tumbuhan Uji

Variasi reaktor	Tanpa tambahan	Dengan Pencemar Cr dan Dengan Penambahan Glukosa	Dengan Pencemar Cr Tanpa Penambahan Glukosa
<i>Helianthus annus</i> tunggal	H-0	H-1	H-2
<i>Zinnia elegans</i> tunggal	Z-0	Z-1	Z-2
<i>Impatiens balsamina</i> tunggal	I-0	I-1	I-2
<i>Helianthus annus</i> dan <i>Zinnia elegans</i>	HZ-0	HZ-1	HZ-2
<i>Helianthus annus</i> dan <i>Impatiens balsamina</i>	HI-0	HI-1	HI-2
<i>Zinnia elegans</i> dan <i>Impatiens balsamina</i>	ZI-0	ZI-1	ZI-2
<i>Helianthus annus</i> , <i>Zinnia elegans</i> , dan <i>Impatiens balsamina</i>	HZI-0	HZI-1	HZI-2

Dilakukan pengukuran setiap parameter setiap 3 hari sekali, pengukuran suhu dan pH tanah, pengukuran tinggi dan fisik tumbuhan, serta pengukuran berat kering dan berat basah tumbuhan pada awal dan akhir penelitian. Penelitian dilakukan selama 30 hari. Pengukuran parameter respirasi dilakukan dengan menggunakan CO₂ meter, yaitu dengan menutup sebagian tanah pada reaktor dengan botol plastik dan kemudian dilakukan pengukuran selama 1 menit.

3.3.6. Destruksi Tumbuhan dan Tanah

Destruksi tumbuhan dan tanah dilakukan setelah penelitian utama selesai dengan menggunakan metode *Nitric Acid Digestion* (APHA-AWWA-WPCF, 1980). Dengan metode *Nitric Acid Digestion*, logam berat yang terdapat pada tumbuhan dan tanah diharapkan dapat berikatan dengan asam nitrat sehingga dapat diuji tingkat konsentrasinya dengan AAS. Tahapan *Nitric Acid Digestion* secara runtut terlampir (Lampiran II).

4. Analisis Data dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan didasarkan pada perbandingan hasil pengukuran respirasi pada masing-masing variasi penanaman tumbuhan. Hasil analisis datadan pembahasan ini juga akan menjawab tujuan penelitian yang telah dibuat. Hasil penelitian akan ditampilkan dalam bentuk grafik, tabel, maupun bentuk deskriptif.

5. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran didasarkan dari hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan selama penelitian. Kesimpulan bertujuan untuk menjawab tujuan dari penelitian dan untuk mempermudah pembaca memperoleh gambaran ringkasan hasil dari penelitian yang telah dilakukan. Saran yang berisi evaluasi dan rekomendasi dapat berguna bagi penelitian selanjutnya agar tidak terjadi

kesalahan yang sama dan dapat tercapainya penyempurnaan penelitian sehingga diperoleh informasi yang dapat dipertanggungjawabkan dalam penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Range Finding Test (RFT)

Range finding test (RFT) dilakukan untuk mengetahui konsentrasi pencemar pada media tanam yang mampu digunakan oleh tumbuhan untuk hidup. Pada penelitian ini, RFT dilakukan dengan menanam biji masing-masing tumbuhan *Helianthus annus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina* pada media kapas steril yang telah diberi pencemar. RFT dilakukan dengan menanam biji tumbuhan dikarenakan perkecambahan biji adalah proses fisiologis pertama yang dipengaruhi oleh Cr, kemampuan benih untuk berkecambah dalam media yang mengandung Cr akan menunjukkan tingkat toleransinya terhadap logam ini (Peralta dkk, 2001). Reaktor yang digunakan berupa gelas beaker 50 ml yang telah diisi dengan media kapas sebanyak 3 gram.

Konsentrasi pencemar yang ditambahkan pada media kapas yaitu $K_2Cr_2O_7$ 0 mg/L (berupa akuades), 5 mg/L, 10 mg/L, 20 mg/L, dan 30 mg/L. Diisi biji tumbuhan *Helianthus annus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina* pada reaktor terpisah, dengan pengaturan seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Reaktor RFT

Pada reaktor untuk tumbuhan *Helianthus annus* diisi biji sejumlah 3 (tiga) biji, untuk tumbuhan *Zinnia elegans* diisi biji sejumlah 5

(lima) biji, dan untuk tumbuhan *Impatiens balsamina* diisi biji sejumlah 7 (tujuh) biji.

Pengamatan untuk RFT dilakukan selama 7 hari, dengan data pengamatan fisik terlampir pada Lampiran III dan untuk jumlah biji yang hidup pada masing-masing reaktor terdapat pada Tabel 4.1. Dari hasil pengamatan didapatkan angka presentase hidup masing-masing tumbuhan dan masing-masing konsentrasi pencemar. Angka presentase hidup untuk masing-masing tumbuhan terdapat pada Gambar 4.2.

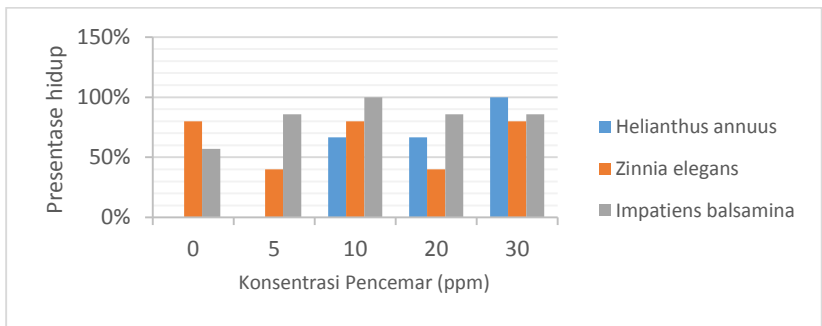
Tabel 4. 1 Jumlah Biji Tumbuh pada Masing-masing reaktor per Hari

No	Tanggal	Jam	Reaktor	Pengamatan
1	23/02/2018	15.30	<i>Helianthus annuus</i> 0 ppm	Berupa Biji
2			<i>Helianthus annuus</i> 5 ppm	Berupa Biji
3			<i>Helianthus annuus</i> 10 ppm	Berupa Biji
4			<i>Helianthus annuus</i> 20 ppm	Berupa Biji
5			<i>Helianthus annuus</i> 30 ppm	Berupa Biji
6			<i>Zinnia elegans</i> 0 ppm	Berupa Biji
7			<i>Zinnia elegans</i> 5 ppm	Berupa Biji
8			<i>Zinnia elegans</i> 10 ppm	Berupa Biji
9			<i>Zinnia elegans</i> 20 ppm	Berupa Biji
10			<i>Zinnia elegans</i> 30 ppm	Berupa Biji
11			<i>Impatiens balsamina</i> 0 ppm	Berupa Biji
12			<i>Impatiens balsamina</i> 5 ppm	Berupa Biji
13			<i>Impatiens balsamina</i> 10 ppm	Berupa Biji
14			<i>Impatiens balsamina</i> 20 ppm	Berupa Biji
15			<i>Impatiens balsamina</i> 30 ppm	Berupa Biji
16	26/02/2018	08.40	<i>Helianthus annuus</i> 0 ppm	Terdapat 2 tunas (2/3)
17			<i>Helianthus annuus</i> 5 ppm	Terdapat 2 tunas (2/3)
18			<i>Helianthus annuus</i> 10 ppm	Terdapat 3 tunas (3/3)
19			<i>Helianthus annuus</i> 20 ppm	Terdapat 3 tunas (3/3)

No	Tanggal	Jam	Reaktor	Pengamatan
20			<i>Helianthus annuus</i> 30 ppm	Terdapat 3 tunas (3/3)
21			<i>Zinnia elegans</i> 0 ppm	Terdapat 3 tunas (3/5)
22			<i>Zinnia elegans</i> 5 ppm	Terdapat 0 tunas (0/5)
23			<i>Zinnia elegans</i> 10 ppm	Terdapat 3 tunas (3/5)
24			<i>Zinnia elegans</i> 20 ppm	Terdapat 3 tunas (3/5)
25			<i>Zinnia elegans</i> 30 ppm	Terdapat 0 tunas (0/5)
26			<i>Impatiens balsamina</i> 0 ppm	Terdapat 2 tunas (2/7)
27			<i>Impatiens balsamina</i> 5 ppm	Terdapat 2 tunas (2/7)
28			<i>Impatiens balsamina</i> 10 ppm	Terdapat 0 tunas (0/7)
29			<i>Impatiens balsamina</i> 20 ppm	Terdapat 3 tunas (3/7)
30			<i>Impatiens balsamina</i> 30 ppm	Terdapat 1 tunas (1/7)
31	28/02/2018	09.00	<i>Helianthus annuus</i> 0 ppm	Terdapat 2 tunas (2/3), tunas berjamur (2/3), 1 biji rusak (1/3)
32			<i>Helianthus annuus</i> 5 ppm	Terdapat 2 tunas (2/3) tinggi 5 cm
33			<i>Helianthus annuus</i> 10 ppm	Terdapat 3 tunas (3/3), 2 tunas tinggi 2 cm, 1 tunas tinggi 5 cm
34			<i>Helianthus annuus</i> 20 ppm	Terdapat 3 tunas (3/3) tinggi 3 cm
35			<i>Helianthus annuus</i> 30 ppm	Terdapat 3 tunas (3/3) tinggi 3 cm
36			<i>Zinnia elegans</i> 0 ppm	Terdapat 4 tunas (4/5) tinggi 3 cm

No	Tanggal	Jam	Reaktor	Pengamatan
37			<i>Zinnia elegans</i> 5 ppm	Terdapat 1 tunas (1/5) tinggi 3 cm
38			<i>Zinnia elegans</i> 10 ppm	Terdapat 4 tunas (4/5) tinggi 3 cm
39			<i>Zinnia elegans</i> 20 ppm	Terdapat 1 tunas (1/5) tinggi 3 cm
40			<i>Zinnia elegans</i> 30 ppm	Terdapat 4 tunas (4/5) tinggi 2 cm
41			<i>Impatiens balsamina</i> 0 ppm	Terdapat 4 tunas (4/7) tinggi 2 cm
42			<i>Impatiens balsamina</i> 5 ppm	Terdapat 6 tunas (2/7) tinggi 2 cm
43			<i>Impatiens balsamina</i> 10 ppm	Terdapat 3 tunas (3/7) tinggi 2 cm
44			<i>Impatiens balsamina</i> 20 ppm	Terdapat 6 tunas (6/7) tinggi 2 cm
45			<i>Impatiens balsamina</i> 30 ppm	Terdapat 6 tunas (6/7) tinggi 2 cm
46	01/03/2018	15.15	<i>Helianthus annuus</i> 0 ppm	Berjamur
47			<i>Helianthus annuus</i> 5 ppm	Berjamur
48			<i>Helianthus annuus</i> 10 ppm	1 berjamur, 2 sehat
49			<i>Helianthus annuus</i> 20 ppm	2 sehat
50			<i>Helianthus annuus</i> 30 ppm	3 sehat, akar bertambah panjang
51			<i>Zinnia elegans</i> 0 ppm	Terdapat 4 tunas (4/5) tinggi 5 cm
52			<i>Zinnia elegans</i> 5 ppm	Terdapat 2 tunas (2/5) tinggi 5 cm

No	Tanggal	Jam	Reaktor	Pengamatan
53			<i>Zinnia elegans</i> 10 ppm	Terdapat 4 tunas (4/5) tinggi 5 cm
54			<i>Zinnia elegans</i> 20 ppm	Terdapat 2 tunas (1/5) tinggi 5 cm
55			<i>Zinnia elegans</i> 30 ppm	Terdapat 4 tunas (4/5) tinggi 3 cm
56			<i>Impatiens balsamina</i> 0 ppm	Terdapat 4 tunas (4/7) tinggi 5 cm
57			<i>Impatiens balsamina</i> 5 ppm	Terdapat 6 tunas (6/7) 2 tunas tinggi 5 cm, 3 tunas tinggi 2 cm
58			<i>Impatiens balsamina</i> 10 ppm	Terdapat 7 tunas (7/7) tinggi 2 cm
59			<i>Impatiens balsamina</i> 20 ppm	Terdapat 6 tunas (6/7) tinggi 2 cm
60			<i>Impatiens balsamina</i> 30 ppm	Terdapat 6 tunas (6/7) tinggi 2 cm

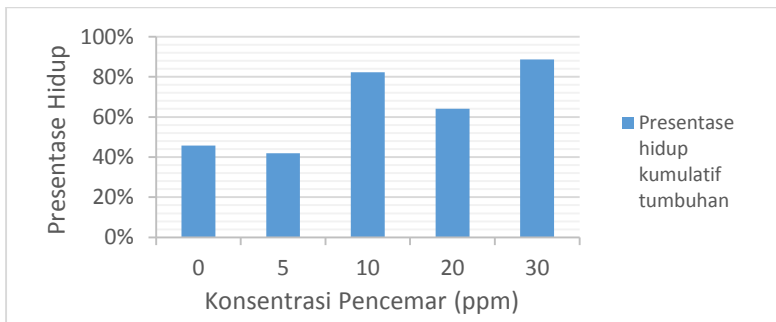


Gambar 4. 2 Presentase Hidup Tumbuhan

Angka presentase hidup tumbuhan didapatkan dari:

$$\text{Presentase hidup (\%)} = \frac{\varepsilon \text{ biji yang tumbuh}}{\text{Total } \varepsilon \text{ biji dalam reaktor}} \times 100\%$$

Dilakukan perhitungan rata-rata presentase hidup untuk setiap konsentrasi dengan merata-rata presentase hidup tumbuhan dengan konsentrasi pencemar yang sama. Perhitungan rata-rata presentase hidup dilakukan untuk mendapatkan presentase yang agak digunakan pada penelitian utama, yaitu konsentrasi dengan presentase tertinggi.



Gambar 4. 3 Rata-rata Presentase Hidup Kumulatif Tumbuhan

Pada Gambar 4.2, Gambar 4.3 menunjukkan rata-rata presentase hidup tumbuhan secara kumulatif, dengan angka tertinggi pada konsentrasi 30 mg/L. Pada RFT, biji tumbuhan dengan media tidak tercemar tumbuh lebih cepat dibandingkan dengan biji pada media berpencemar. Pada reaktor dengan media berpencemar biji lebih terlambat tumbuh, maka dari itu pada hari akhir RFT, presentase reaktor berpencemar lebih tinggi daripada reaktor tidak berpencemar. Peralta, dkk (2001) menemukan bahwa 40 ppm Cr (VI) mengurangi kemampuan benih *Medicago sativa* cv. *Malone* untuk berkecambah dan tumbuh di media yang terkontaminasi sebanyak 23%. Sedangkan pada reaktor tidak berpencemar biji tidak mampu

untuk melanjutkan perkecambahan dikarenakan tidak adanya tambahan nutrisi pada media.

Dari hasil RFT, dipilih konsentrasi 30 mg/L sebagai konsentrasi pencemar $K_2Cr_2O_7$ untuk penelitian utama.

4.2. Aklimatisasi Tumbuhan

Aklimatisasi tumbuhan dilakukan dengan sebagai penyesuaian kondisi tumbuhan dengan lingkungan. Dengan dilakukannya aklimatisasi tumbuhan ini diharapkan pada saat penelitian utama tumbuhan telah beradaptasi dengan lingkungan tempat penelitian dilakukan. Aklimatisasi dilakukan selama 7 hari (Puspita, 2011). Kondisi tumbuhan saat aklimatisasi dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Tumbuhan Pada Tahap Aklimatisasi

4.3. Penelitian Utama

Penelitian utama dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu tahap persiapan media tanam, persiapan pencemar Cr, penyusunan reaktor, pengukuran konsentrasi CO_2 , dan analisa sisa Cr dengan metode AAS. Tahap analisa sisa Cr dengan metode AAS belum dilakukan.

4.3.1. Persiapan Media Tanam

Media tanam disiapkan dengan terlebih dahulu melakukan uji kapasitas resistensi tanah. Uji kapasitas resistensi tanah dilakukan untuk mengetahui volume air yang mampu ditahan oleh tanah yang akan digunakan sebagai media tanam. Hasil dari uji kapasitas resistensi tanah pada media tanam ini adalah 5,6 mL air untuk setiap 10 gram tanah. Pada penelitian utama, dipilih kapasitas 3 mL untuk setiap 10 gram tanah supaya media tanam tidak terlalu basah.

Persiapan media tanam dilanjutkan dengan menimbang tanah sesuai kebutuhan yaitu dengan perbandingan tanah pupuk dengan tanah taman 2:1. Dengan kebutuhan masing-masing reaktor adalah 8 tanah total, maka berat tanah pupuk 2 kg dan tanah taman 6 kg untuk setiap reaktor.

4.3.2. Persiapan Larutan $C_6H_{12}O_6$ dan Pencemar $K_2Cr_2O_7$

Persiapan larutan pencemar $K_2Cr_2O_7$ dilakukan dengan menyiapkan untuk konsentrasi 30 mg/kg pada masing-masing reaktor, yaitu 2,4 L dengan kebutuhan konsentrasi $K_2Cr_2O_7$ adalah 83,33 mg/L. Kebutuhan $C_6H_{12}O_6$ sebagai stimulan untuk masing-masing reaktor adalah 1:1. Sehingga untuk persiapan larutan $C_6H_{12}O_6$ disiapkan 28,8 L dengan konsentrasi 100 ppm.

4.3.3. Penyusunan Reaktor

Reaktor disusun dengan memasukkan tanah berdasarkan perbandingan, pencemar, dan larutan glukosa sesuai dengan perlakuan pada Tabel 3.1. Reaktor berupa wadah plastik berukuran 50 cm x 20 cm.

Setelah media siap, dilakukan penanaman tumbuhan berdasarkan variasi pada Tabel 3.1. Perlakuan yang dilakukan pada masing-masing reaktor adalah menyiram reaktor 3 kali dalam 1 hari, dan dilakukan pemberian pestisida untuk masing-masing tumbuhan karena adanya gangguan oleh serangga.

4.3.4. Pengukuran CO₂

Pengukuran CO₂ dimulai pada hari ke-14 pengamatan. CO₂ pada tanah diukur dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan pencemar dan C₆H₁₂O₆ pada aktivitas mikroba dalam tanah. CO₂ diukur dengan menggunakan CO₂ meter. Pengukuran CO₂ dilakukan dengan menutup sebagian tanah pada reaktor dengan botol plastik dan kemudian dilakukan pengukuran selama 1 menit (Lampiran IV).

Analisa data pengukuran CO₂ dilakukan dengan mengurangi angka hasil pengukuran rata-rata masing-masing reaktor dengan angka hasil pengukuran CO₂ reaktor tanpa tumbuhan tanpa pencemar. Hasil pengukuran angka awal terdapat pada Tabel 4.2 dan hasil pengukuran setelah dilakukan pengurangan terdapat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran CO₂ Rata-rata Reaktor

Perlakuan Media	Hari Ke-	CO ₂ Rata-rata Reaktor (ppmV)										
		Tanpa Tumbuhan	<i>Helianthus annuus</i>	<i>Impatiens balsamina</i>	<i>Zinnia elegans</i>	<i>Helianthus annuus</i> , <i>Impatiens balsamina</i>	<i>Helianthus annuus</i> , <i>Zinnia elegans</i>	<i>Impatiens balsamina</i> , <i>Zinnia elegans</i>	<i>Helianthus annuus</i> , <i>Impatiens balsamina</i> , <i>Zinnia elegans</i>	Rata-rata Reaktor 1 jenis tumbuhan	Rata-rata Reaktor 2 jenis tumbuhan	Rata-rata Reaktor 3 jenis tumbuhan
Kontrol	14	341,89	331,72	358,01	327,58	335,00	370,29	394,99	320,33	339,10	366,76	320,33
	17	335,56	354,53	369,25	407,79	356,56	380,37	364,69	350,24	377,19	367,20	350,24
	21	343,07	359,92	373,00	379,98	363,77	374,23	368,33	355,67	370,97	368,78	355,67
	24	417,96	365,65	371,04	356,15	372,10	384,83	368,93	355,86	364,28	375,29	355,86
	29	375,15	385,79	357,31	393,99	381,15	439,38	368,22	352,53	379,03	396,25	352,53
Cr	14	349,08	346,48	354,64	355,98	332,28	330,15	344,95	358,79	352,37	335,79	358,79

Perlakuan Media	Hari Ke-	CO ₂ Rata-rata Reaktor (ppmV)										
		Tanpa Tumbuhan	<i>Heliant hus annuus</i>	<i>Impati ens balsamina</i>	<i>Zinnia elegans</i>	<i>Heliant hus annuus, Impati ens balsamina</i>	<i>Heliant hus annuus, Zinnia elegans</i>	<i>Impati ens balsamina, Zinnia elegans</i>	<i>Heliant hus annuus, Impati ens balsamina, Zinnia elegans</i>	Rata-rata Reaktor 1 jenis tumbuhan	Rata-rata Reaktor 2 jenis tumbuhan	Rata-rata Reaktor 3 jenis tumbuhan
	17	392,53	354,84	349,59	349,77	352,97	330,90	343,19	342,81	351,40	342,35	342,81
	21	382,63	373,47	362,17	371,62	375,06	342,47	355,65	366,51	369,09	357,73	366,51
	24	367,71	385,00	377,51	407,24	393,68	376,22	366,82	386,83	389,92	378,91	386,83
	29	370,98	453,94	497,13	621,34	570,67	392,57	420,88	393,37	524,13	461,37	393,37
Cr + Glukosa	14	329,20	349,83	355,49	366,79	330,54	390,39	377,01	329,59	357,37	365,98	329,59
	17	394,24	382,20	446,24	405,12	401,36	388,18	429,42	412,74	411,19	406,32	412,74
	21	455,02	463,20	476,22	419,92	442,69	406,85	439,33	399,13	453,11	429,62	399,13
	24	398,45	433,11	439,57	433,24	509,78	429,99	514,37	428,80	435,31	484,71	428,80

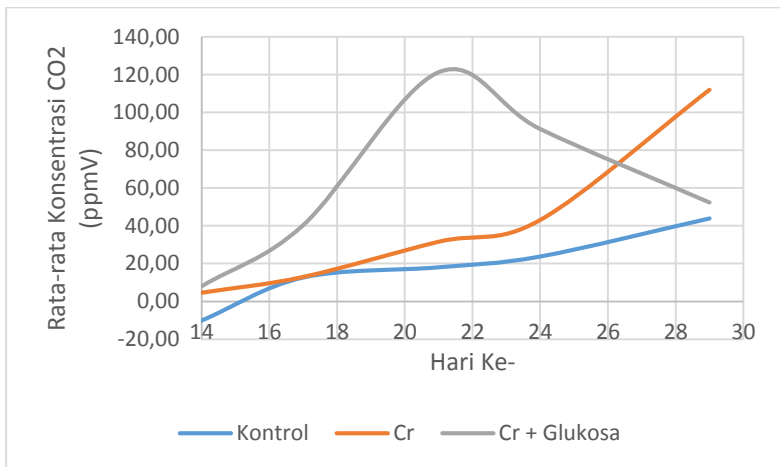
Perlakuan Media	Hari Ke-	CO ₂ Rata-rata Reaktor (ppmV)										
		Tanpa Tumbuhan	<i>Heliant hus annuus</i>	<i>Impati ens balsamina</i>	<i>Zinnia elegans</i>	<i>Heliant hus annuus</i> , <i>Impati ens balsamina</i>	<i>Heliant hus annuus</i> , <i>Zinnia elegans</i>	<i>Impati ens balsamina</i> , <i>Zinnia elegans</i>	<i>Heliant hus annuus</i> , <i>Impati ens balsamina</i> , <i>Zinnia elegans</i>	Rata-rata Reaktor 1 jenis tumbuhan	Rata-rata Reaktor 2 jenis tumbuhan	Rata-rata Reaktor 3 jenis tumbuhan
	29	414,02	394,22	484,90	459,19	523,57	473,56	468,11	440,41	446,10	488,41	440,41

Tabel 4. 3 Hasil Pengurangan CO2 Rata-rata Reaktor

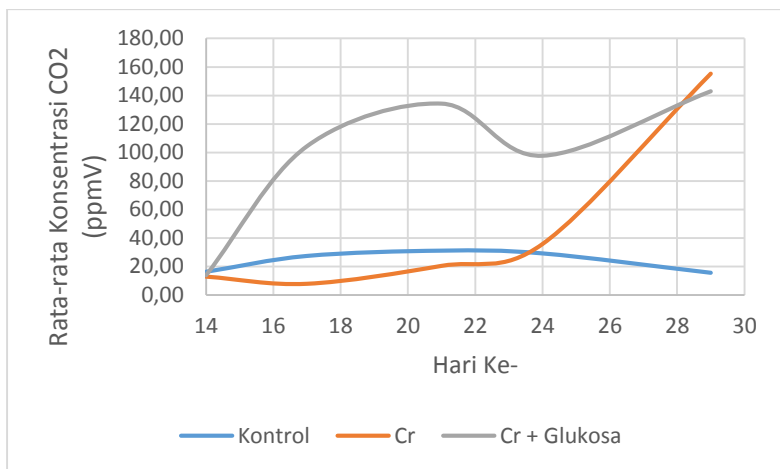
Perlakuan Media	Hari Ke-	Reaktor (ppmV) - kontrol tanpa tumbuhan tanpa pencemar										
		Tanpa Tumbuhan	<i>Heliant hus annuus</i>	<i>Impati ens balsa mina</i>	<i>Zinni a eleg ans</i>	<i>Heliant hus annuus , Impatie ns balsam ina</i>	<i>Heliant hus annuus , Zinnia elegans</i>	<i>Impati ens balsa mina , Zinnia elegans</i>	<i>Heliant hus annuus , Impatie ns balsam ina, Zinnia elegans</i>	Rata-rata Reakt or 1 jenis tumbu han	Rata-rata Reakt or 2 jenis tumbu han	Rata-rata Reakt or 3 jenis tumbu han
Kontrol	14		-10,18	16,12	- 14,32	-6,89	28,40	53,10	-21,56	-2,79	24,87	-21,56
	17		12,64	27,36	65,90	14,66	38,47	22,80	8,34	35,30	25,31	8,34
	21		18,03	31,11	38,09	21,87	32,34	26,44	13,77	29,08	26,88	13,77
	24		23,76	29,15	14,26	30,21	42,94	27,03	13,97	22,39	33,39	13,97
	29		43,89	15,42	52,10	39,26	97,48	26,32	10,63	37,14	54,36	10,63
Cr	14	7,19	4,58	12,75	14,09	-9,62	-11,74	3,06	16,90	10,47	-6,10	16,90
	17	50,63	12,94	7,70	7,87	11,08	-10,99	1,30	0,92	9,51	0,46	0,92
	21	40,74	31,58	20,28	29,73	33,17	0,58	13,75	24,61	27,20	15,83	24,61
	24	25,81	43,11	35,62	65,35	51,78	34,33	24,93	44,93	48,02	37,01	44,93
	29	29,08	112,04	155,23	279,45	228,77	50,68	78,99	51,47	182,24	119,48	51,47
	14	-12,69	7,94	13,60	24,89	-11,35	48,50	35,12	-12,30	15,48	24,09	-12,30

Perlakuan Media	Hari Ke -	Reaktor (ppmV) - kontrol tanpa tumbuhan tanpa pencemar										
		Tanpa Tumbuhan	<i>Helianthus annuus</i>	<i>Impatiens balsamina</i>	<i>Zinnia elegans</i>	<i>Helianthus annuus</i> , <i>Impatiens balsamina</i>	<i>Helianthus annuus</i> , <i>Zinnia elegans</i>	<i>Impatiens balsamina</i> , <i>Zinnia elegans</i>	<i>Helianthus annuus</i> , <i>Impatiens balsamina</i> , <i>Zinnia elegans</i>	Rata-rata Reaktor 1 jenis tumbuhan	Rata-rata Reaktor 2 jenis tumbuhan	Rata-rata Reaktor 3 jenis tumbuhan
Cr + Glukosa	17	52,35	40,31	104,35	63,23	59,47	46,29	87,53	70,85	69,29	64,43	70,85
	21	113,13	121,31	134,33	78,02	100,80	64,96	97,44	57,24	111,22	87,73	57,24
	24	56,56	91,22	97,68	91,35	167,88	88,09	172,47	86,91	93,41	142,82	86,91
	29	72,13	52,33	143,00	117,29	181,68	131,66	126,22	98,51	104,21	146,52	98,51

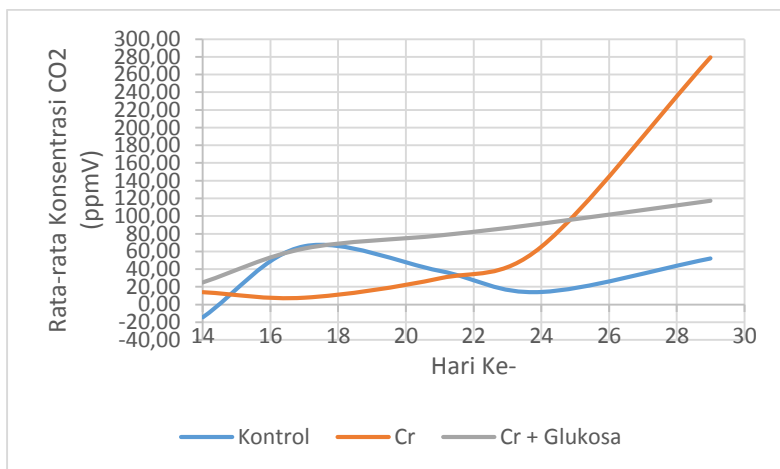
Berdasarkan pengukuran CO₂ dan perhitungan yang dilakukan, data kemudian diplot dalam grafik, untuk menunjukkan tren yang terbentuk berdasarkan waktu atau hari pengambilan data. Gambar 4.5 hingga Gambar 4.13 merupakan grafik perbandingan konsentrasi CO₂ dengan waktu pengukuran sesuai dengan masing-masing variasi penanaman pada masing-masing reaktor.



Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO₂ pada reaktor *Helianthus annuus*



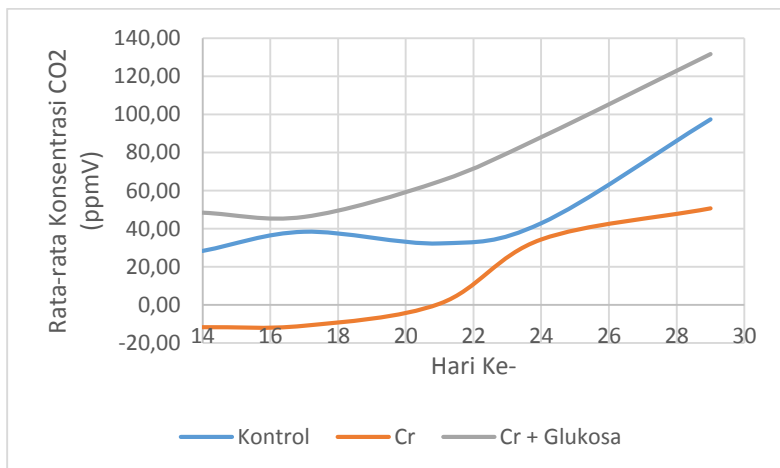
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO₂ pada reaktor Impatiens balsamina



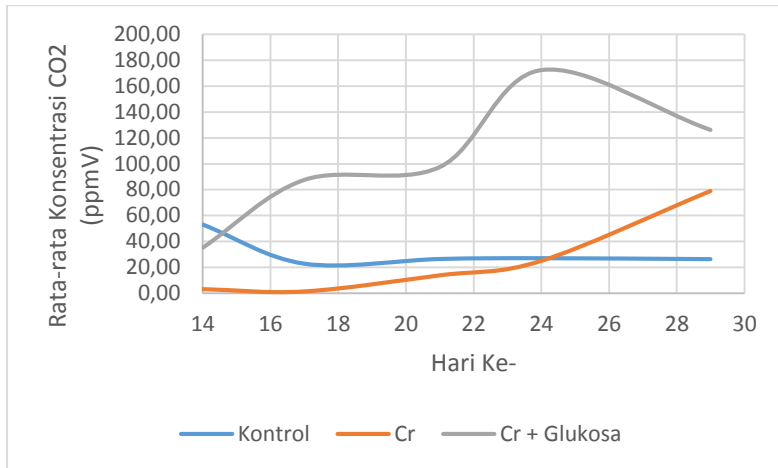
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO₂ pada reaktor Zinnia elegans



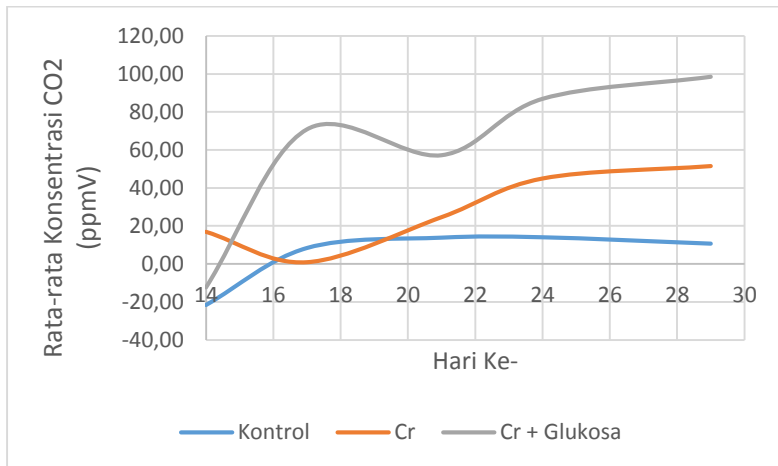
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO₂ pada reaktor *Helianthus annuus*, *Impatiens balsamina*



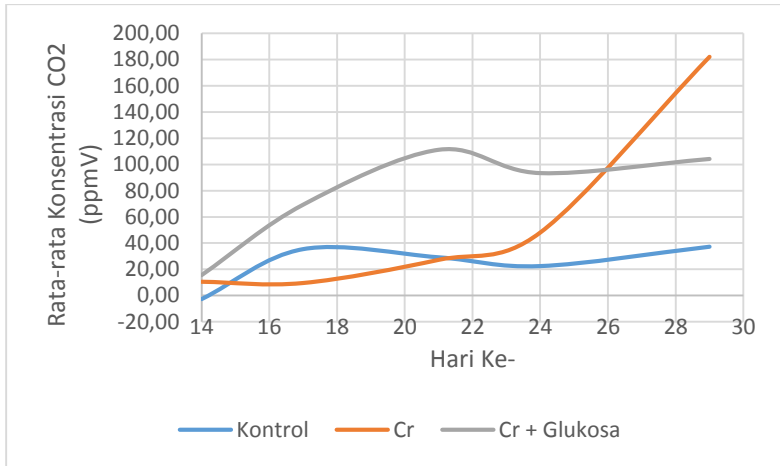
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO₂ pada reaktor *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*



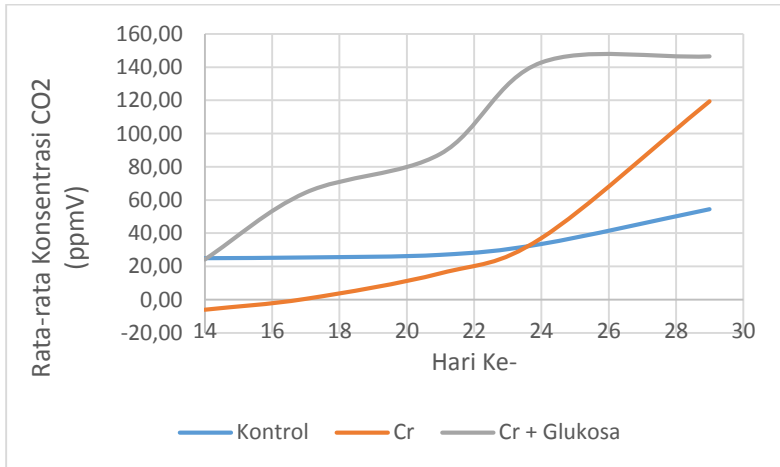
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO₂ pada reaktor *Impatiens balsamina*, *Zinnia elegans*



Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO₂ pada reaktor *Helianthus annuus*, *Impatiens balsamina*, *Zinnia elegans*



Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO₂ Rata-rata pada reaktor dengan 1 jenis tumbuhan



Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Selisih Konsentrasi CO₂ Rata-rata pada reaktor dengan 2 jenis tumbuhan

Gambar 4.5 - 4.13 menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pada produksi CO_2 (yang menunjukkan aktivitas mikroba pada tanah) oleh keberadaan pencemar Cr pada media tanah. Nilai konsentrasi CO_2 dipengaruhi oleh kandungan bahan organik tanah, suhu tanah, ketersediaan oksigen, dan ketersediaan hara sebagai faktor eksternal, sedangkan faktor internal yang berpengaruh adalah biomassa akar dan populasi mikroorganisme (Moren dan Lindrothn, 2000).

Secara umum kadar CO_2 udara tanah akan menurun apabila aktivitas akar dan mikroorganisme tanah terhambat (Kuswandora, 2012). Berdasarkan hasil penelitian, nilai konsentrasi CO_2 pada udara tanah memiliki kecenderungan meningkat, sehingga dapat dilihat bahwa pada hari-hari awal pengukuran, konsentrasi penghambat aktivitas akar dan mikroorganisme (pencemar Cr) lebih tinggi pada hari-hari akhir pengukuran CO_2 .

Selain itu, pada gambar juga tampak bahwa terdapat pengaruh pada produksi CO_2 (yang menunjukkan aktivitas mikroba pada tanah) oleh penambahan $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ pada media tanah. Secara umum produksi CO_2 pada reaktor dengan tambahan $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ memiliki angka konsentrasi CO_2 yang lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor kontrol dan reaktor berpencemar Cr (tanpa tambahan $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$).

Bahan organik tanah menentukan total mikroorganisme di dalam tanah, semakin tinggi bahan organik di dalam tanah, maka total mikroorganisme tanah juga semakin tinggi (Wicaksono dkk, 2015). Hasil pengukuran konsentrasi produksi CO_2 pada reaktor dengan tambahan $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ memiliki kecenderungan naik, sehingga penambahan $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ mengakibatkan peningkatan aktivitas mikroorganisme dalam tanah dan nilai konsentrasi produksi CO_2 yang dihasilkan lebih tinggi.

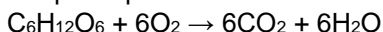
Dari grafik reaktor dengan penambahan glukosa pada media juga dapat terlihat bahwa pengukuran CO_2 pada hari ke 14 hingga 20 mengalami tren naik, namun setelah itu mengalami penurunan. Hal tersebut menunjukkan bahwa setelah minggu ketiga penelitian aktivitas mikrobiologis pada akar atau pada media reaktor semakin menurun dan proses kimia yang lebih

berpengaruh. Proses mikrobiologis yang terjadi berupa fitoproses rizodegradasi, yaitu proses pengurangan kontaminan pada tanah melalui aktivitas mikroba. Proses kimia yang diindikasikan terjadi berupa rizofiltrasi yaitu adsorpsi kontaminan pada akar melalui perbedaan muatan ion antara ion tanah dengan ion akar (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010).

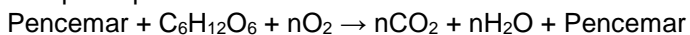
4.3.5. Penyisihan Cr Menggunakan Campuran Tumbuhan

Dalam Mangkoedihardjo dan Samudro (2009) dijelaskan bahwa keberadaan pencemar dalam tanah memberikan pengaruh pada reaksi respirasi mikroorganisme tanah.

Respirasi pada tanah tidak tercemar:



Respirasi pada tanah tercemar:

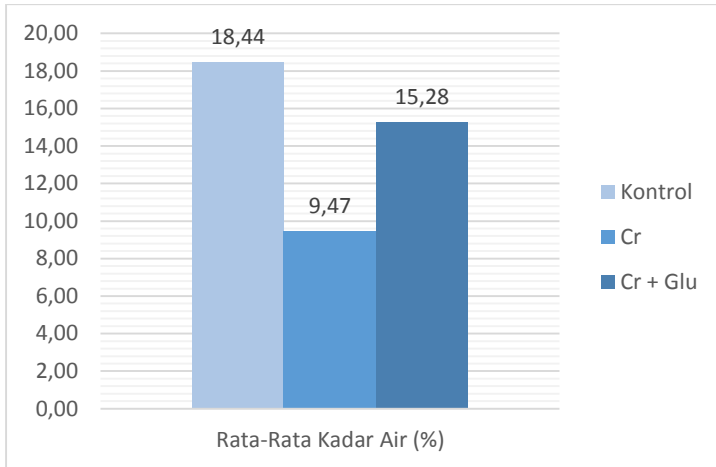


Secara umum kadar CO_2 udara tanah akan menurun apabila aktivitas akar dan mikroorganisme tanah terhambat (Kuswandora, 2012). Dalam penelitian ini didapatkan hasil pengukuran konsentrasi CO_2 yang cenderung meningkat, sehingga hal tersebut mengindikasikan adanya penurunan konsentrasi pencemar Cr (sebagai penghambat) pada tanah.

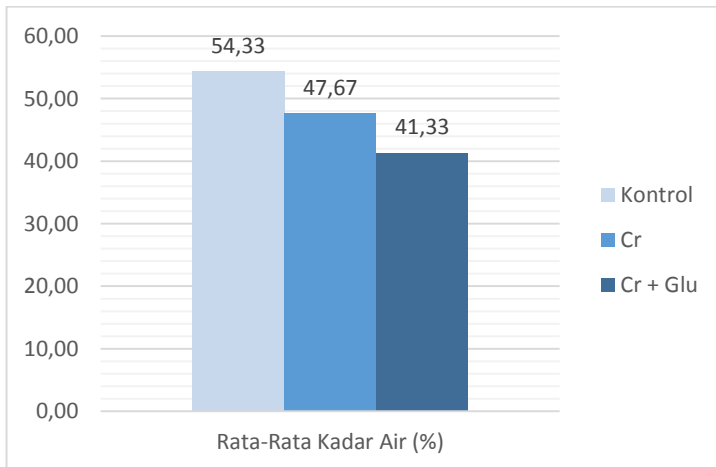
Berdasarkan pengukuran CO_2 yang telah dilakukan, dapat disimpulkan tumbuhan *Helianthus annuus*, *Zinnia elegans*, dan *Impatiens balsamina* memiliki kemampuan sebagai tumbuhan hiperakumulator, karena adanya kenaikan angka konsentrasi CO_2 pada setiap pengukuran.

a. Kadar Air Tumbuhan

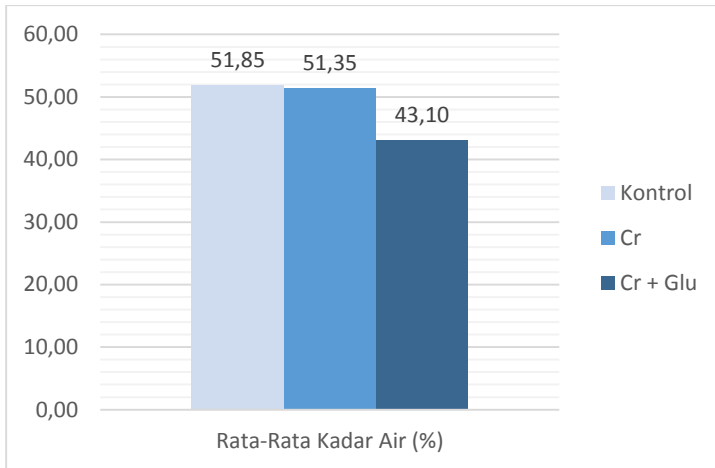
Dilakukan ekstraksi tumbuhan dan tanah untuk mendapatkan sampel yang akan digunakan untuk uji AAS. Pada tahapan ekstraksi tumbuhan dilakukan pula analisa kadar air yang terdapat pada masing-masing sampel tumbuhan dan tanah. Hasil analisa pengukuran terdapat pada Gambar 4.14 sampai Gambar 4.17.



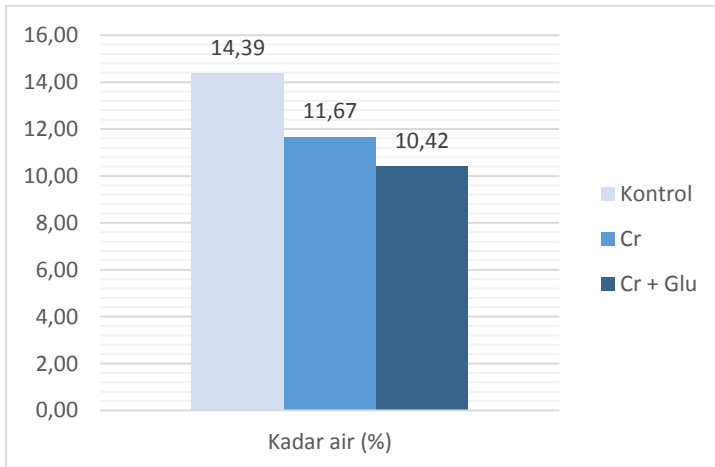
Gambar 4. 14 Rata-rata Kadar Air Reaktor Tanpa Tumbuhan



Gambar 4. 15 Rata-rata Kadar Air Reaktor dengan 1 (satu) jenis tumbuhan



Gambar 4. 16 Rata-rata Kadar Air Reaktor dengan Campuran 2 (dua jenis tumbuhan)



Gambar 4. 17 Rata-rata Kadar Air Reaktor *Helianthus annuus*, *Impatiens balsamina* dan *Zinnia elegans* (Campuran 3 Jenis Tumbuhan)

Berdasarkan uraian gambar dapat diketahui bahwa kadar air pada sampel tumbuhan maupun tanah, memiliki kecenderungan yang lebih tinggi pada reaktor dengan media tanpa pencemar daripada reaktor dengan media tercemar. Sehingga dapat diketahui bahwa keberadaan pencemar Cr dapat menekan kemampuan tumbuhan maupun tanah untuk menyimpan cadangan air. Seperti yang disebutkan dalam Shanker dkk (2005) yaitu keberadaan Cr mengakibatkan kemampuan menyimpan air pada tumbuhan menurun, peningkatan laju transpirasi, penurunan kemampuan resistensi difusif, tumbuhan menjadi layu, penyempitan lebar diameter pembuluh trachea.

b. Fitoremediasi Penyisihan Cr Pada Reaktor Satu Jenis Tumbuhan

Reaktor sampel untuk uji AAS dipilih secara acak. Pada masing-masing variasi penelitian dipilih 1 (satu) reaktor sampel. Uji AAS dilakukan untuk mengetahui sisa Cr yang terlarut atau terendapkan pada setiap sampel tumbuhan dan tanah. Hasil pada uji AAS disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Uji AAS Reaktor Satu Jenis Tumbuhan

No	Reaktor	Media	Keterangan	Nilai Cr (ppm)	Presentase Removal
1	Tanpa Tumbuhan	Kontrol	Tanah	0,02	-
2	Tanpa Tumbuhan	Cr	Tanah	9,88	67%
3	Tanpa Tumbuhan	Cr + Glukosa	Tanah	10,18	66%
4	<i>Helianthus annuus</i>	Kontrol	Tanah	0,03	-
			Heli 1	0,01	
			Heli 2	0,02	
5	<i>Helianthus annuus</i>	Cr	Tanah	11,15	63%
			Heli 1	7,58	
			Heli 2	3,76	
6			Tanah	15,19	49%

No	Reaktor	Media	Keterangan	Nilai Cr (ppm)	Presentase Removal
	<i>Helianthus annuus</i>	Cr + Glukosa	Heli 1	17,16	
			Heli 2	6,11	
7	<i>Impatiens balsamina</i>	Kontrol	Tanah	0,05	-
			Impa 1	0,03	
			Impa 2	0,01	
8	<i>Impatiens balsamina</i>	Cr	Tanah	11,05	63%
			Impa 1	7,88	
			Impa 2	3,05	
9	<i>Impatiens balsamina</i>	Cr + Glukosa	Tanah	13,1	56%
			Impa 1	7,88	
			Impa 2	3,11	
10	<i>Zinnia elegans</i>	Kontrol	Tanah	15,12	-
			Zinn 1	0,03	
			Zinn 2	3,88	
11	<i>Zinnia elegans</i>	Cr	Tanah	10,51	65%
			Zinn 1	8,99	
			Zinn 2	3,18	
12	<i>Zinnia elegans</i>	Cr + Glukosa	Tanah	11,08	63%
			Zinn 1	3,88	
			Zinn 2	9,15	

Berdasarkan data pada Tabel 4.4, dapat dilihat bahwa kemampuan removal Cr yang tertinggi pada masing-masing tumbuhan adalah pada tumbuhan *Zinnia elegans* yaitu sebesar 65 %. Reaktor dengan satu jenis tumbuhan memiliki range penyisihan 49% hingga 65%.

c. Penyisihan Cr Pada Reaktor Campuran Dua Jenis Tumbuhan

Rata-rata hasil uji AAS untuk reaktor dengan campuran dua jenis tumbuhan disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5Hasil Uji AAS Reaktor Campuran Dua Jenis Tumbuhan

No	Reaktor	Media	Keterangan	Nilai Cr (ppm)	Presentase Removal
1	Tanpa Tumbuhan	Kontrol	Tanah	0,02	-
2	Tanpa Tumbuhan	Cr	Tanah	9,88	67%
3	Tanpa Tumbuhan	Cr + Glukosa	Tanah	10,18	66%
4	<i>Helianthus annuus</i> dan <i>Impatiens balsamina</i>	Kontrol	Tanah	0,01	-
			Heli 1	0,02	
			Heli 2	0,03	
			Impa 1	0,03	
			Impa 2	0,03	
5	<i>Helianthus annuus</i> dan <i>Impatiens balsamina</i>	Cr	Tanah	10,52	65%
			Heli 1	7,15	
			Heli 2	4,52	
			Impa 1	7,9	
			Impa 2	5,88	
6	<i>Helianthus annuus</i> dan <i>Impatiens balsamina</i>	Cr + Glukosa	Tanah	7,88	74%
			Heli 1	6,9	
			Heli 2	4,9	
			Impa 1	7,65	
			Impa 2	6,1	
7	<i>Helianthus annuus</i> dan <i>Zinnia elegans</i>	Kontrol	Tanah	0,05	-
			Heli 1	0,03	
			Heli 2	4,16	
			Zinn 1	0,02	
			Zinn 2	0,02	
8	<i>Helianthus annuus</i> dan <i>Zinnia elegans</i>	Cr	Tanah	9,26	69%
			Heli 1	7,15	
			Heli 2	3,9	
			Zinn 1	7,86	
			Zinn 2	5,82	
9	<i>Helianthus annuus</i> dan <i>Zinnia elegans</i>	Cr + Glukosa	Tanah	10,88	64%
			Heli 1	4,9	
			Heli 2	4,05	
			Zinn 1	9,08	
			Zinn 2	6,11	
10	<i>Impatiens balsamina</i>	Kontrol	Tanah	0,05	-
			Impa 1	0,01	

No	Reaktor	Media	Keterangan	Nilai Cr (ppm)	Presentase Removal
	dan <i>Zinnia elegans</i>		Impa 2	8,51	
			Zinn 1	0,02	
			Zinn 2	0,02	
11	<i>Impatiens balsamina</i> dan <i>Zinnia elegans</i>	Cr	Tanah	9,88	67%
			Impa 1	7,81	
			Impa 2	3,18	
			Zinn 1	6,11	
			Zinn 2	5,82	
12	<i>Impatiens balsamina</i> dan <i>Zinnia elegans</i>	Cr + Glukosa	Tanah	10,04	67%
			Impa 1	6,1	
			Impa 2	3,51	
			Zinn 1	8,65	
			Zinn 2	0,03	

Berdasarkan data pada Tabel 4.5, dapat dilihat bahwa kemampuan removal Cr yang tertinggi terdapat pada reaktor dengan campuran 2 tumbuhan *Helianthus annuus* dan *Impatiens balsamina* dalam reaktor dengan media dengan tambahan glukosa yaitu 74%. Hal tersebut juga menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan glukosa sebagai sumber karbon, dapat meningkatkan kemampuan removal pencemar Cr dalam tanah.

d. Penyisihan Cr Pada Reaktor Campuran Tiga Jenis Tumbuhan

Tabel 4. 6 Hasil Uji AAS Reaktor Campuran Tiga Jenis Tumbuhan

No	Reaktor	Media	Keterangan	Nilai Cr (ppm)	Presentase Removal
1	Tanpa Tumbuhan	Kontrol	Tanah	0,02	-
2	Tanpa Tumbuhan	Cr	Tanah	9,88	67%
3	Tanpa Tumbuhan	Cr + Glukosa	Tanah	10,18	66%
4	<i>Helianthus annuus</i> , <i>Impatiens</i>	Kontrol	Tanah	11,18	-
			Heli 1	0,02	
			Heli 2	0,01	

No	Reaktor	Media	Keterangan	Nilai Cr (ppm)	Presentase Removal
	<i>balsamina</i> dan <i>Zinnia elegans</i>		Impa 1	0,01	
			Impa 2	0,01	
			Zinn 1	0,02	
			Zinn 2	0,01	
5	<i>Helianthus annuus</i> , <i>Impatiens balsamina</i> dan <i>Zinnia elegans</i>	Cr	Tanah	9,6	68%
			Heli 1	4,01	
			Heli 2	4,01	
			Impa 1	7,16	
			Impa 2	5,67	
			Zinn 1	5,9	
			Zinn 2	2,95	
5	<i>Helianthus annuus</i> , <i>Impatiens balsamina</i> dan <i>Zinnia elegans</i>	Cr + Glukosa	Tanah	10,52	65%
			Heli 1	7,01	
			Heli 2	3,34	
			Impa 1	8,1	
			Impa 2	0,03	
			Zinn 1	5,98	
			Zinn 2	6,15	

Berdasarkan data pada Tabel 4.4, 4.5, 4.6 dapat dilihat bahwa kemampuan removal Cr yang tertinggi terdapat pada reaktor dengan campuran 2 tumbuhan *Helianthus annuus* dan *Impatiens balsamina* dalam reaktor dengan media dengan tambahan glukosa yaitu 74%. Glukosa sebagai pasokan sumber karbon organik pada tumbuhan mempengaruhi mikroba yang hidup pada akar, sehingga mendukung proses rizodegradasi (Mangkoedihardjo dan Samudro, 2010). Selain itu, faktor kerapatan pada tumbuhan juga diindikasikan sebagai salah satu faktor penyebab perbedaan kemampuan penyisihan pencemar Cr pada reaktor. Disebutkan dalam Hartanti dkk (2014), kerapatan tanaman memberikan pengaruh terhadap penurunan konsentrasi Cr pada limbah cair penyamakan kulit. Penurunan Cr dengan hasil optimal yaitu pada kerapatan tanaman dengan campuran 2 tumbuhan (4 individu) menghasilkan presentase removal yang lebih tinggi.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dihasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Kemampuan removal pencemar Cr oleh campuran tumbuhan tertinggi adalah 74%, terdapat pada reaktor dengan campuran dua tumbuhan yaitu *Helianthus annuus* dan *Impatiens balsamina*.
2. Terdapat pengaruh keberadaan pencemar Cr pada media terhadap perbedaan konsentrasi CO₂, yaitu reaktor dengan media berpencemar Cr konsentrasi CO₂ yang terukur memiliki kecenderungan lebih tinggi dibanding reaktor dengan media tanpa pencemar.
3. Terdapat pengaruh pada penambahan glukosa pada media yaitu aktivitas biologis media lebih tinggi hingga minggu ketiga penelitian.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran CO₂ media dilakukan sedari hari 0 penelitian dan guna mendapatkan data yang lebih optimal.
2. Penggunaan tumbuhan dimulai dari biji dan pengisolasian media sehingga tidak terdapat kontaminasi pencemar pada tumbuhan sebelum penelitian.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, H., Khan, E., Sajad, MA. 2013. *Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications*. Chemosphere 91 (2013) 869–881
- Arinda, T. 2013. *Tingkat Resistensi Merkuri dan Variasi Fragmen Genom Bakteri Bacillus dari Kali Mas Surabaya*. Tugas Akhir Jurusan Biologi, FMIPA, ITS. Surabaya: ITS.
- Ashokkumar, B., Jothiramalingam, S., Thiyagarajan, S. K., Hidayathullakhan, T., & Nalini, R. 2014. *Phytoremediation Of Tannery Polluted Soil Using Eclipta Alba (Karisalankanni)*. International Journal of Current Research in Chemistry and Pharmaceutical Sciences, 1(3), 1–5.
- Badr, N. 2012 *Phytoremediation: An Ecological Solution To Heavy Metal Polluted Soil And Evaluation Of Plant Removal Ability*. World Applied Science Journal 16(9), 1292–1301
- Bareen, F. e., & Tahira, S. A. (2011). *Metal Accumulation Potential Of Wild Plants In Tannery Effluent Contaminated Soil Of Kasur, Pakistan: Field Trials For Toxic Metal Cleanup Using Suaeda fruticosa*. Journal of Hazardous Materials, 186(1), 443–450.
- Chandra B, 2012. Pengantar Kesehatan Lingkungan. Jakarta: Penerbit Buku. Kedokteran EGC. Departemen Kesehatan RI. Riset Kesehatan Dasar 2013
- Cervantes, et al. (2001). *Bioremediation of Chromium (VI) from Textile Industry's Effluent and Contaminated Soil Using Pseudomonas putida*. Journal of Energy & Environment. 2(1):24-31
- Chaney RL et al. 1997. *Phytoremediation of soil metals*. Curr Opin Biotechnol 8:279-284
- Dhal, B., Thatoi, H.N., Ds, N.N., and Pandey, B.D. 2013. *Chemical and Microbial Remediation of Hexavalent Chromium Contaminated Soil and Mining/Metalurgical Solid Waste: A Review*. Journal of Hazardous Material. 250-251 : 272-291

- Giachetti, G., & Sebastiani, L. 2006. *Metal Accumulation In Poplar Plant Grown With Industrial Wastes*. Chemosphere, 64(3), 446–454.
- Girdhar, M., Singh, S., Rasool, H. I., Srivastava, V., & Mohan, A. 2014. *Evaluating Different Weeds for Phytoremediation Potential Available in Tannery Polluted Area by Conducting Pot and hydroponic experiment*. Current World Environment, 9(1), 156–167.
- Hidayati, Nuril. 2004. *Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator*. Jurnal Hayati Maret 2005 hlm. 35-40 Vol. 12, No. 1 ISSN 0854-8587. Bogor: IPB.
- ITRC. 2001. Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance Document
- Khan, S., Hesham A E., Qiao, M., Rehman, S., He, J Z. 2007. *Effects of Cd and Pb on soil microbial community structure and activities*. Environ Sci Pollut Res (2010) 17:288–296.
- Kuswandora, D. V. 2012. *Emisi Gas Co2 dan Neraca Karbon Pada Lahan Jagung, Kacang Tanah dan Singkong Di Kecamatan Ranca Bungur, Bogor*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Lorestani, B., Cheraghi, M., Yousefi., N. 2011. *Phytoremediation Potential of Native Plants Growing on a Heavy Metals Contaminated Soil of Copper mine in Iran*. Journal of Geological and Environmental Engineering Vol:5, No:5.
- Mandi, L., Tiglyene, S., & Jaouad, A. 2009. *Depuration Of Tannery Effluent By Phytoremediation And Infiltration Percolation Under Arid Climate*. Options Mediterraneennes, 88, 199–205.
- Mangkoedihardjo, S dan Samudro, G. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Notodarmojo, S. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Bandung: Penerbit ITB
- Pandey, J., Chand, S., Pandey, S., Rajkumari, & Patra, D. D. 2015. *Palmarosa [Cymbopogon Martinii (Roxb.) Wats.] As A Putative Crop For Phytoremediation, In*

- Tannery Sludge Polluted Soil*. Ecotoxicology and Environmental Safety, 122, 296–302.
- Patel, A., & Patra, D. D. 2014. *Influence Of Heavy Metal Rich Tannery Sludge On Soil Enzymes Vis-A-Vis Growth Of Tagetes Minuta, An Essential Oil Bearing Crop*. Chemosphere, 112, 323–332.
- Patel, A., & Patra, D. D. 2015. *Phytoextraction capacity of Pelargonium graveolens L'Her. grown on soil amended with tannery sludge - Its effect on the antioxidant activity and oil yield*. Ecological Engineering, 74, 20–27.
- Puspita, U.R., Siregar, A.S., dan Hidayati, N.V. 2011. *Kemampuan Tumbuhan Air sebagai Agen Fitoremediator Logam Berat Kromium (Cr) yang terdapat pada Limbah Cair Industri Batik*. Jurnal Berkala Perikanan Terubuk. 39, No. 1. ISSN 0126-4265.
- Setyorini, D., Saraswati, R., Anwar, E K. 2006. *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Jurnal Hayati Maret 2005 hlm. 35-40 Vol. 12, No. 1 ISSN 0854-8587. Bogor: IPB
- Shanker, A.K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., Avudainayagam, S., 2005. *Chromium Toxicity In Plants*. Environ. Int. 31, 739–753.
- Sholeh, M dan Griyanitasari, G. 2016. *Kajian Fitoremediasi Kromium Dalam Limbah Penyamakan Kulit*. [Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet dan Plastik Ke-5]. Yogyakarta.
- Vamerali, T., Bandiera, M., Mosca, G., 2010. *Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land. A review*. Environ. Chem. Lett. 8, 1–17
- Wicaksono, T., Sagiman, S., Umran, I. 2015. *“Kajian Aktivitas Mikroorganisme Tanah Pada Beberapa Cara Penggunaan Lahan Di Desa Pal IX Kecamatan Sungai Kakap Kabupaten Kubu Raya”*. Pontianak: Universitas Tanjungpura.
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., Ma, L Q. 2006. *Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site*. China: Chinese Academy of Sciences
- Zhang, X H., Liu, J., Huang, H T., Chen, J., Zhu, Y N., Wang, D Q. 2007. *Chromium accumulation by the*

hyperaccumulator plant Leersia hexandra Swartz. China:
Department of Resources and Environmental
Engineering, Guilin University of Technology.

LAMPIRAN I

Perhitungan Konsentrasi Larutan Pencemar

1. Perhitungan Volume Pencemar untuk RFT

Volume larutan pencemar untuk RFT dihitung untuk mengetahui volume larutan maksimal yang mampu ditampung oleh media.

Berat kapas = 3 gram

Bulk density kapas = 206,16 kg/m³

$$Volume = \frac{Berat\ kapas}{Bulk\ density} = \frac{3 \times 10^{-3} kg}{206,16 \frac{kg}{m^3}} = 15\text{ mL}$$

2. Larutan Pencemar K₂Cr₂O₇ untuk RFT

Larutan stok dibuat dengan melarutkan 141,4 mg K₂Cr₂O₇ dalam 100 mL aquadest. Larutan stok yang telah terlarut secara homogen memiliki konsentrasi 500 mg/L. Kemudian larutan stok diencerkan untuk membuat larutan K₂Cr₂O₇ konsentrasi 5 mg/L, 10 mg/L, 20 mg/L, dan 30 mg/L.

- Konsentrasi 0 mg/L berupa akuades 50 mL
- Konsentrasi 5 mg/L dibuat dengan melarutkan 0,5 mL larutan stok K₂Cr₂O₇ 500 mg/L dalam akuades hingga volume 50 mL
- Konsentrasi 10 mg/L dibuat dengan melarutkan 1 mL larutan stok K₂Cr₂O₇ 500 mg/L dalam akuades hingga volume 50 mL

- Konsentrasi 20 mg/L dibuat dengan melarutkan 2 mL larutan stok $K_2Cr_2O_7$ 500 mg/L dalam akuades hingga volume 50 mL
- Konsentrasi 30 mg/L dibuat dengan melarutkan 3 mL larutan stok $K_2Cr_2O_7$ 500 mg/L dalam akuades hingga volume 50 mL

3. Larutan Pencemar $K_2Cr_2O_7$ untuk Penelitian Utama

- Konsentrasi pencemar yang dibutuhkan = 30 mg/kg
- Berat media = 8 kg
- Kapasitas media = 3 mL/10 gram

$$C \left(\frac{mg}{kg} \right) = \frac{k \left(\frac{mg}{L} \right) \times Volume (L)}{Berat media (kg)}$$

$$30 \frac{mg}{kg} = \frac{k \left(\frac{mg}{L} \right) \times 1,2 L}{8 kg}$$

$$k \left(\frac{mg}{L} \right) = 83,33 mg/L$$

- Total reaktor dengan pencemar = 48 reaktor dengan masing-masing 1,2 L pencemar.
- Total Volume pencemar yang dibutuhkan = 57,6 L
- Volume jirigen yang tersedia = 40 L
- Kebutuhan larutan stok

$$V1 \times C1 = V2 \times C2$$

$$V1 \times 500 \frac{mg}{L} = 83,33 \frac{mg}{L} \times 40 L$$

$$\begin{aligned}
 V1 &= 6,67 \text{ L} \rightarrow \text{untuk 2 jirigen V} \\
 &= 13,34 \text{ L larutan stok } 500 \text{ mg} \\
 &\quad / \text{L}
 \end{aligned}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN II

Destruksi Tumbuhan dan Tanah

Destruksi tumbuhan dan tanah dilakukan dengan metode *Nitric Acid Digestion* dengan terlebih dahulu dilakukan analisis berat kering tumbuhan dan tanah.

1. Analisis Berat Basah dan Berat Kering Tumbuhan dan Tanah

Analisis berat basah dan berat kering tumbuhan dan tanah membutuhkan peralatan yaitu neraca analitik, alumunium foil, oven, dan gunting untuk memotong tumbuhan. Sebelum ditimbang, tumbuhan terlebih dahulu dipotong-potong untuk mengurangi volume tumbuhan. Masing-masing sampel tumbuhan dan tanah dibungkus menggunakan alumunium foil dan ditimbang menggunakan neraca analitik.

Selanjutnya masing-masing sampel dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 105° C. Sampel dikeringkan untuk menghilangkan kadar air pada masing-masing sampel. Kemudian sampel ditimbang kembali untuk mengetahui berat kering masing-masing sampel.

Setelah didapatkan berat kering masing-masing sampel, dilakukan perhitungan kadar air dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{Berat basah (g)} - \text{Berat kering (g)}}{\text{Berat basah (g)}} \times 100\%$$

2. Ekstraksi Cr dari Tumbuhan dan Tanah

Ekstraksi Cr dari tumbuhan dan tanah dilakukan menggunakan metode *nitric acid digestion*. Namun sebelum diekstrak, sampel tumbuhan dan tanah terlebih dahulu dihaluskan untuk memudahkan proses ekstraksi dan menghomogenkan sampel. Sampel tumbuhan dihaluskan dengan menggunakan blender merek Philips HR2815G. Sedangkan untuk sampel tanah, dihaluskan dengan menggunakan mortar porselen.

Setelah sampel halus, masing-masing ditimbang sebanyak 1 gram pada cawan porselen dan kemudian dibakar pada furnace dengan suhu 500°C selama 1 jam, untuk menghilangkan bahan-bahan organik pada sampel. Sampel yang telah dibakar kemudian diturunkan suhunya dengan menggunakan oven dan desikator. Asam nitrat pekat kemudian ditambahkan sebanyak 5 mL pada masing-masing sampel dan didiamkan selama 1 malam atau kurang lebih 15 jam.

Sampel yang telah didiamkan semalaman diencerkan hingga 50 mL menggunakan aquadest, lalu disaring hingga didapatkan filtrat dari masing-masing sampel.

LAMPIRAN III

Gambar Reaktor



Reaktor Tanpa Tumbuhan



Reaktor 1 Jenis Tumbuhan



Reaktor 2 Jenis Tumbuhan



Reaktor 3 Jenis Tumbuhan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN IV

Hasil Pengamatan *Range Finding Test*

1. Tabel Pengamatan

N o	Tanggal	Jam	Reaktor	Pengamatan
1	23/02/2018	15.30	<i>Helianthus annuus</i> 0 ppm	Berupa Biji
2			<i>Helianthus annuus</i> 5 ppm	Berupa Biji
3			<i>Helianthus annuus</i> 10 ppm	Berupa Biji
4			<i>Helianthus annuus</i> 20 ppm	Berupa Biji
5			<i>Helianthus annuus</i> 30 ppm	Berupa Biji
6			<i>Zinnia elegans</i> 0 ppm	Berupa Biji
7			<i>Zinnia elegans</i> 5 ppm	Berupa Biji
8			<i>Zinnia elegans</i> 10 ppm	Berupa Biji
9			<i>Zinnia elegans</i> 20 ppm	Berupa Biji
10			<i>Zinnia elegans</i> 30 ppm	Berupa Biji
11			<i>Impatiens balsamina</i> 0 ppm	Berupa Biji
12			<i>Impatiens balsamina</i> 5 ppm	Berupa Biji
13			<i>Impatiens balsamina</i> 10 ppm	Berupa Biji
14			<i>Impatiens balsamina</i> 20 ppm	Berupa Biji
15			<i>Impatiens balsamina</i> 30 ppm	Berupa Biji
16	26/02/2018	08.40	<i>Helianthus annuus</i> 0 ppm	Terdapat 2 tunas (2/3)
17			<i>Helianthus annuus</i> 5 ppm	Terdapat 2 tunas (2/3)
18			<i>Helianthus annuus</i> 10 ppm	Terdapat 3 tunas (3/3)
19			<i>Helianthus annuus</i> 20 ppm	Terdapat 3 tunas (3/3)
20			<i>Helianthus annuus</i> 30 ppm	Terdapat 3 tunas (3/3)
21			<i>Zinnia elegans</i> 0 ppm	Terdapat 3 tunas (3/5)
22			<i>Zinnia elegans</i> 5 ppm	Terdapat 0 tunas (0/5)

N o	Tanggal	Jam	Reaktor	Pengamatan
23			<i>Zinnia elegans</i> 10 ppm	Terdapat 3 tunas (3/5)
24			<i>Zinnia elegans</i> 20 ppm	Terdapat 3 tunas (3/5)
25			<i>Zinnia elegans</i> 30 ppm	Terdapat 0 tunas (0/5)
26			<i>Impatiens balsamina</i> 0 ppm	Terdapat 2 tunas (2/7)
27			<i>Impatiens balsamina</i> 5 ppm	Terdapat 2 tunas (2/7)
28			<i>Impatiens balsamina</i> 10 ppm	Terdapat 0 tunas (0/7)
29			<i>Impatiens balsamina</i> 20 ppm	Terdapat 3 tunas (3/7)
30			<i>Impatiens balsamina</i> 30 ppm	Terdapat 1 tunas (1/7)
31	28/02/2018	09.00	<i>Helianthus annuus</i> 0 ppm	Terdapat 2 tunas (2/3), tunas berjamur (2/3), 1 biji rusak (1/3)
32			<i>Helianthus annuus</i> 5 ppm	Terdapat 2 tunas (2/3) tinggi 5 cm
33			<i>Helianthus annuus</i> 10 ppm	Terdapat 3 tunas (3/3), 2 tunas tinggi 2 cm, 1 tunas tinggi 5 cm
34			<i>Helianthus annuus</i> 20 ppm	Terdapat 3 tunas (3/3) tinggi 3 cm
35			<i>Helianthus annuus</i> 30 ppm	Terdapat 3 tunas (3/3) tinggi 3 cm
36			<i>Zinnia elegans</i> 0 ppm	Terdapat 4 tunas (4/5) tinggi 3 cm
37			<i>Zinnia elegans</i> 5 ppm	Terdapat 1 tunas (1/5) tinggi 3 cm

N o	Tanggal	Jam	Reaktor	Pengamatan
38			<i>Zinnia elegans</i> 10 ppm	Terdapat 4 tunas (4/5) tinggi 3 cm
39			<i>Zinnia elegans</i> 20 ppm	Terdapat 1 tunas (1/5) tinggi 3 cm
40			<i>Zinnia elegans</i> 30 ppm	Terdapat 4 tunas (4/5) tinggi 2 cm
41			<i>Impatiens balsamina</i> 0 ppm	Terdapat 4 tunas (4/7) tinggi 2 cm
42			<i>Impatiens balsamina</i> 5 ppm	Terdapat 6 tunas (2/7) tinggi 2 cm
43			<i>Impatiens balsamina</i> 10 ppm	Terdapat 3 tunas (3/7) tinggi 2 cm
44			<i>Impatiens balsamina</i> 20 ppm	Terdapat 6 tunas (6/7) tinggi 2 cm
45			<i>Impatiens balsamina</i> 30 ppm	Terdapat 6 tunas (6/7) tinggi 2 cm
46	01/03/2018	15.15	<i>Helianthus annuus</i> 0 ppm	Berjamur
47			<i>Helianthus annuus</i> 5 ppm	Berjamur
48			<i>Helianthus annuus</i> 10 ppm	1 berjamur, 2 sehat
49			<i>Helianthus annuus</i> 20 ppm	2 sehat
50			<i>Helianthus annuus</i> 30 ppm	3 sehat, akar bertambah panjang
51			<i>Zinnia elegans</i> 0 ppm	Terdapat 4 tunas (4/5) tinggi 5 cm
52			<i>Zinnia elegans</i> 5 ppm	Terdapat 2 tunas (2/5) tinggi 5 cm
53			<i>Zinnia elegans</i> 10 ppm	Terdapat 4 tunas (4/5) tinggi 5 cm

N o	Tanggal	Jam	Reaktor	Pengamatan
54			<i>Zinnia elegans</i> 20 ppm	Terdapat 2 tunas (1/5) tinggi 5 cm
55			<i>Zinnia elegans</i> 30 ppm	Terdapat 4 tunas (4/5) tinggi 3 cm
56			<i>Impatiens balsamina</i> 0 ppm	Terdapat 4 tunas (4/7) tinggi 5 cm
57			<i>Impatiens balsamina</i> 5 ppm	Terdapat 6 tunas (6/7) 2 tunas tinggi 5 cm, 3 tunas tinggi 2 cm
58			<i>Impatiens balsamina</i> 10 ppm	Terdapat 7 tunas (7/7) tinggi 2 cm
59			<i>Impatiens balsamina</i> 20 ppm	Terdapat 6 tunas (6/7) tinggi 2 cm
60			<i>Impatiens balsamina</i> 30 ppm	Terdapat 6 tunas (6/7) tinggi 2 cm

2. Tabel Perhitungan Presentase Hidup

N o	Reaktor	Konsentrasi pencemar (ppm)	Presentase Hidup
1	<i>Helianthus annuus</i>	0	0%
2	<i>Helianthus annuus</i>	5	0%
3	<i>Helianthus annuus</i>	10	67%
4	<i>Helianthus annuus</i>	20	67%
5	<i>Helianthus annuus</i>	30	100%
6	<i>Zinnia elegans</i>	0	80%
7	<i>Zinnia elegans</i>	5	40%

8	<i>Zinnia elegans</i>	10	80%
9	<i>Zinnia elegans</i>	20	40%
10	<i>Zinnia elegans</i>	30	80%
11	<i>Impatiens balsamina</i>	0	57%
12	<i>Impatiens balsamina</i>	5	86%
13	<i>Impatiens balsamina</i>	10	100%
14	<i>Impatiens balsamina</i>	20	86%
15	<i>Impatiens balsamina</i>	30	86%

3. Tabel Presentase Hidup Rata-Rata Setiap Konsentrasi

No	Konsentrasi pencemar	Rata-rata presentase hidup
1	0 ppm	46%
2	5 ppm	42%
3	10 ppm	82%
4	20 ppm	64%
5	30 ppm	89%

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN V

Hasil Pengukuran CO₂

1. Reaktor O (Tanpa Tumbuhan)

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	Reaktor (ppm)			
				O 1	O 2	O 3	Or
Kontrol	14	07/04/2018	35,00	365,88	331,66	328,14	341,89
	17	10/04/2018	32,00	340,11	335,7	330,86	335,56
	21	13/04/2018	31,50	347,70	338,50	343,00	343,07
	24	16/04/2018	33,00	534,33	364,7	354,84	417,96
	29	18/04/2018	33,00	338,86	387,25	363,05	375,15
Cr	14	07/04/2018	35,00	368,88	345,50	332,86	349,08
	17	10/04/2018	32,00	404,67	405,11	367,80	392,53
	21	13/04/2018	31,50	387,13	400,76	360,00	382,63
	24	16/04/2018	33,00	350,00	392,00	361,12	367,71
	29	18/04/2018	33,00	339,56	394,38	379,00	370,98
Cr + Glukosa	14	07/04/2018	35,00	333,50	324,90	329,20	329,20
	17	10/04/2018	32,00	379,60	408,88	394,24	394,24
	21	13/04/2018	31,50	368,29	555,8	441,00	455,02
	24	16/04/2018	33,00	390,56	411,55	393,24	398,45
	29	18/04/2018	33,00	391,13	475,22	375,71	414,02

2. Reaktor 1 (Satu) Jenis Tumbuhan (*Helianthus annuus*)

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	Reaktor (ppm)			
				H 1	H 2	H 3	H r
Kontrol	14	07/04/2018	35,00	320,29	338,43	336,43	331,72
	17	10/04/2018	32,00	344,10	343,77	375,72	354,53

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	Reaktor (ppm)			
				H 1	H 2	H 3	H r
	21	13/04/2018	31,50	365,13	354,64	360,00	359,92
	24	16/04/2018	33,00	370,00	367,67	359,28	365,65
	29	18/04/2018	33,00	331,43	375,56	450,38	385,79
Cr	14	07/04/2018	35,00	331,80	375,88	331,75	346,48
	17	10/04/2018	32,00	344,28	329,60	390,63	354,84
	21	13/04/2018	31,50	355,32	367,87	397,23	373,47
	24	16/04/2018	33,00	357,89	388,87	408,24	385,00
	29	18/04/2018	33,00	366,14	496,00	499,67	453,94
Cr + Glukosa	14	07/04/2018	35,00	359,18	337,44	352,87	349,83
	17	10/04/2018	32,00	387,44	371,66	387,50	382,20
	21	13/04/2018	31,50	580,78	363,50	445,33	463,20
	24	16/04/2018	33,00	505,00	380,63	413,71	433,11
	29	18/04/2018	33,00	436,00	355,67	391,00	394,22

3. Reaktor 1 (Satu) Jenis Tumbuhan (*Impatiens balsamina*)

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	Reaktor (ppm)			
				I 1	I 2	I 3	I r
Kontrol	14	07/04/2018	35,00	389,29	341,50	343,25	358,01
	17	10/04/2018	32,00	382,20	377,55	348,00	369,25
	21	13/04/2018	31,50	380,11	355,56	383,33	373,00
	24	16/04/2018	33,00	384,50	350,00	378,63	371,04
	29	18/04/2018	33,00	388,60	358,44	324,89	357,31
Cr	14	07/04/2018	35,00	402,33	330,88	330,71	354,64
	17	10/04/2018	32,00	361,75	363,47	323,56	349,59
	21	13/04/2018	31,50	379,87	379,87	326,78	362,17

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	Reaktor (ppm)			
				I 1	I 2	I 3	I r
	24	16/04/2018	33,00	399,21	400,11	333,21	377,51
	29	18/04/2018	33,00	421,13	732,63	337,63	497,13
Cr + Glukosa	14	07/04/2018	35,00	355,71	330,77	380,00	355,49
	17	10/04/2018	32,00	434,66	367,30	536,77	446,24
	21	13/04/2018	31,50	441,90	398,78	587,98	476,22
	24	16/04/2018	33,00	451,28	405,68	461,75	439,57
	29	18/04/2018	33,00	381,50	611,44	461,75	484,90

4. Reaktor 1 (Satu) Jenis Tumbuhan (*Zinnia elegans*)

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	Reaktor (ppm)			
				Z 1	Z 2	Z 3	Z r
Kontrol	14	07/04/2018	35,00	324,29	330,86	327,58	327,58
	17	10/04/2018	32,00	469,50	390,11	363,77	407,79
	21	13/04/2018	31,50	400,00	379,32	360,63	379,98
	24	16/04/2018	33,00	377,67	340,00	350,78	356,15
	29	18/04/2018	33,00	444,78	339,30	397,89	393,99
Cr	14	07/04/2018	35,00	373,38	358,86	335,71	355,98
	17	10/04/2018	32,00	376,00	337,86	335,44	349,77
	21	13/04/2018	31,50	400,12	359,87	354,87	371,62
	24	16/04/2018	33,00	457,87	361,87	401,98	407,24
	29	18/04/2018	33,00	925,50	365,23	573,30	621,34
Cr + Glukosa	14	07/04/2018	35,00	402,22	347,00	351,14	366,79
	17	10/04/2018	32,00	372,88	484,60	357,88	405,12
	21	13/04/2018	31,50	398,78	462,10	398,87	419,92
	24	16/04/2018	33,00	431,98	465,87	401,87	433,24
	29	18/04/2018	33,00	459,78	466,78	451,00	459,19

5. Reaktor 2 (Dua) Jenis Tumbuhan (*Helianthus annuus* dan *Impatiens balsamina*)

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	Reaktor (ppm)			
				H I 1	H I 2	H I 3	H I r
Kontrol	14	07/04/2018	35,00	333,33	327,13	344,55	335,00
	17	10/04/2018	32,00	350,37	349,30	370,00	356,56
	21	13/04/2018	31,50	351,88	368,20	371,22	363,77
	24	16/04/2018	33,00	355,10	387,22	373,98	372,10
	29	18/04/2018	33,00	357,88	411,25	374,33	381,15
Cr	14	07/04/2018	35,00	337,29	329,88	329,66	332,28
	17	10/04/2018	32,00	381,40	346,13	331,38	352,97
	21	13/04/2018	31,50	398,43	378,87	347,88	375,06
	24	16/04/2018	33,00	419,87	391,33	369,83	393,68
	29	18/04/2018	33,00	437,38	876,50	398,12	570,67
Cr + Glukosa	14	07/04/2018	35,00	312,85	363,63	315,14	330,54
	17	10/04/2018	32,00	382,70	411,50	409,88	401,36
	21	13/04/2018	31,50	407,30	496,44	424,33	442,69
	24	16/04/2018	33,00	387,67	465,67	676,00	509,78
	29	18/04/2018	33,00	442,90	523,60	604,22	523,57

6. Reaktor 2 (Dua) Jenis Tumbuhan (*Helianthus annuus* dan *Zinnia elegans*)

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	Reaktor (ppm)			
				H Z 1	H Z 2	H Z 3	H Z r
Kontrol	14	07/04/2018	35,00	402,44	341,00	367,44	370,29
	17	10/04/2018	32,00	358,22	419,00	363,88	380,37
	21	13/04/2018	31,50	378,00	366,70	378,00	374,23
	24	16/04/2018	33,00	408,50	359,00	387,00	384,83
	29	18/04/2018	33,00	565,75	339,63	412,75	439,38
Cr	14	07/04/2018	35,00	337,29	323,50	329,66	330,15
	17	10/04/2018	32,00	345,00	336,70	311,00	330,90
	21	13/04/2018	31,50	351,32	342,89	333,21	342,47
	24	16/04/2018	33,00	376,88	378,91	372,88	376,22
	29	18/04/2018	33,00	400,87	398,87	377,98	392,57
Cr + Glukosa	14	07/04/2018	35,00	406,77	363,25	401,15	390,39
	17	10/04/2018	32,00	377,10	362,20	425,25	388,18

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	Reaktor (ppm)			
				H Z 1	H Z 2	H Z 3	H Z r
	21	13/04/2018	31,50	398,81	391,87	429,87	406,85
	24	16/04/2018	33,00	408,20	402,78	478,98	429,99
	29	18/04/2018	33,00	491,00	462,00	467,67	473,56

7. Reaktor 2 (Dua) Jenis Tumbuhan (*Impatiens balsamina* dan *Zinnia elegans*)

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	Reaktor (ppm)			
				I Z 1	I Z 2	I Z 3	I Z r
Kontrol	14	07/04/2018	35,00	478,13	340,85	366,00	394,99
	17	10/04/2018	32,00	384,00	350,30	359,77	364,69
	21	13/04/2018	31,50	357,00	370,00	378,00	368,33
	24	16/04/2018	33,00	355,00	371,78	380,00	368,93
	29	18/04/2018	33,00	346,11	371,67	386,88	368,22
Cr	14	07/04/2018	35,00	381,00	323,57	330,29	344,95
	17	10/04/2018	32,00	352,39	336,38	340,80	343,19
	21	13/04/2018	31,50	376,98	347,98	341,98	355,65
	24	16/04/2018	33,00	401,87	359,81	338,78	366,82
	29	18/04/2018	33,00	556,75	362,90	343,00	420,88
Cr + Glukosa	14	07/04/2018	35,00	348,82	427,33	354,88	377,01
	17	10/04/2018	32,00	380,77	507,00	400,50	429,42
	21	13/04/2018	31,50	443,33	435,33	439,33	439,33
	24	16/04/2018	33,00	475,33	553,40	514,37	514,37
	29	18/04/2018	33,00	415,89	443,78	544,67	468,11

8. Reaktor 3 (Tiga) Jenis Tumbuhan (*Helianthus annuus*, *Impatiens balsamina* dan *Zinnia elegans*)

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	Reaktor (ppm)			
				H Z I 1	H Z I 2	H Z I 3	H Z I r
Kontrol	14	07/04/2018	35,00	322,75	313,25	325,00	320,33
	17	10/04/2018	32,00	373,81	347,20	329,70	350,24

	21	13/04/2018	31,50	388,00	356,00	323,00	355,67
	24	16/04/2018	33,00	349,00	379,70	338,89	355,86
	29	18/04/2018	33,00	308,11	398,71	350,75	352,53
Cr	14	07/04/2018	35,00	405,50	343,87	327,00	358,79
	17	10/04/2018	32,00	337,89	355,17	335,38	342,81
	21	13/04/2018	31,50	354,89	366,87	377,76	366,51
	24	16/04/2018	33,00	389,90	398,71	371,87	386,83
	29	18/04/2018	33,00	409,87	389,67	380,56	393,37
Cr + Glukosa	14	07/04/2018	35,00	328,66	334,11	326,00	329,59
	17	10/04/2018	32,00	406,25	467,88	364,10	412,74
	21	13/04/2018	31,50	398,28	400,98	398,14	399,13
	24	16/04/2018	33,00	409,32	398,12	478,97	428,80
	29	18/04/2018	33,00	412,78	375,33	533,11	440,41

LAMPIRAN VI

Hasil Pengukuran pH Tanah dan Parameter Fisik Tumbuhan

1. pH Tanah Reaktor Tanpa Tumbuhan

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	pH Reaktor Tanpa Tumbuhan			
				O 1	O 2	O 3	Rata-rata
Kontrol	1	07/04/2018	35,00	5,00	5,50	5,00	5,17
	29	18/04/2018	33,00	5,50	6,50	5,00	5,75
Cr	1	07/04/2018	35,00	6,50	6,00	5,00	5,83
	29	18/04/2018	33,00	6,00	5,50	5,50	5,67
Cr + Glukosa	1	07/04/2018	35,00	5,00	5,00	5,50	5,17
	29	18/04/2018	33,00	5,00	5,50	6,00	5,50

2. pH Tanah Reaktor 1 (Satu) Jenis Tumbuhan

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	pH Reaktor Helianthus annuus			
				Heli 1	Heli 2	Heli 3	Rata-rata
Kontrol	1	07/04/2018	35,00	5,00	5,50	5,50	5,33
	29	18/04/2018	33,00	5,00	5,00	6,00	5,33
Cr	1	07/04/2018	35,00	5,50	5,00	6,00	5,50
	29	18/04/2018	33,00	6,50	5,50	5,00	5,67
Cr + Glukosa	1	07/04/2018	35,00	6,00	5,00	5,50	5,50
	29	18/04/2018	33,00	5,00	5,50	6,50	5,67
Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	pH Reaktor Impatiens balsamina			
				Heli 1	Heli 2	Heli 3	Rata-rata
Kontrol	1	07/04/2018	35,00	5,00	5,50	5,00	5,17
	29	18/04/2018	33,00	5,50	5,00	5,50	5,33
Cr	1	07/04/2018	35,00	6,50	5,50	5,50	5,83
	29	18/04/2018	33,00	6,00	6,00	5,00	5,67
Cr + Glukosa	1	07/04/2018	35,00	5,50	6,50	5,00	5,67
	29	18/04/2018	33,00	5,00	5,50	5,00	5,17

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	pH Reaktor Zinnia elegans			
				Heli 1	Heli 2	Heli 3	Rata-rata
Kontrol	1	07/04/2018	35,00	5,00	5,50	5,50	5,33
	29	18/04/2018	33,00	5,00	5,00	6,00	5,33
Cr	1	07/04/2018	35,00	5,50	5,00	6,00	5,50
	29	18/04/2018	33,00	6,50	5,50	5,00	5,67
Cr + Glukosa	1	07/04/2018	35,00	6,00	5,00	5,50	5,50
	29	18/04/2018	33,00	5,00	5,50	6,50	5,67

3. pH Tanah Reaktor 2 (Dua) Jenis Tumbuhan

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	pH reaktor Helianthus annuus dan Impatiens balsamina			
				Heli 1	Heli 2	Heli 3	Rata-rata
Kontrol	1	07/04/2018	35,00	5,00	5,50	5,00	5,17
	29	18/04/2018	33,00	5,50	5,00	5,00	5,17
Cr	1	07/04/2018	35,00	5,50	5,50	6,00	5,67
	29	18/04/2018	33,00	6,00	5,50	5,50	5,67
Cr + Glukosa	1	07/04/2018	35,00	5,00	5,00	6,00	5,33
	29	18/04/2018	33,00	5,00	5,00	6,00	5,33
Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	pH reaktor Helianthus annuus dan Zinnia elegans			
				Heli 1	Heli 2	Heli 3	Rata-rata
Kontrol	1	07/04/2018	35,00	5,00	5,00	5,00	5,00
	29	18/04/2018	33,00	5,50	5,50	5,50	5,50
Cr	1	07/04/2018	35,00	6,00	5,50	5,50	5,67
	29	18/04/2018	33,00	5,50	6,00	6,00	5,83
Cr + Glukosa	1	07/04/2018	35,00	6,00	5,00	5,00	5,33
	29	18/04/2018	33,00	5,50	5,50	5,50	5,50
Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	pH reaktor Impatiens balsamina dan Zinnia elegans			
				Heli 1	Heli 2	Heli 3	Rata-rata
Kontrol	1	07/04/2018	35,00	5,00	5,00	5,50	5,17
	29	18/04/2018	33,00	5,50	5,50	6,00	5,67
Cr	1	07/04/2018	35,00	5,50	5,00	6,00	5,50

	29	18/04/2018	33,00	5,00	5,00	6,50	5,50
Cr + Glukosa	1	07/04/2018	35,00	6,00	5,00	6,00	5,67
	29	18/04/2018	33,00	6,50	5,00	6,50	6,00

4. pH Tanah Reaktor 3 (Tiga) Jenis Tumbuhan

Perlakuan Media	Hari Ke-	Tanggal	Suhu (C)	pH reaktor <i>Helianthus annuus</i> , <i>Impatiens balsamina</i> , dan <i>Zinnia elegans</i>			
				Heli 1	Heli 2	Heli 3	Rata-rata
Kontrol	1	07/04/2018	35,00	5,00	5,00	5,50	5,17
	29	18/04/2018	33,00	5,50	5,00	5,50	5,33
Cr	1	07/04/2018	35,00	5,50	5,00	5,00	5,17
	29	18/04/2018	33,00	5,00	5,50	5,00	5,17
Cr + Glukosa	1	07/04/2018	35,00	5,50	5,00	5,50	5,33
	29	18/04/2018	33,00	5,50	5,50	6,00	5,67

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN VII

Berat Basah dan Berat Kering

N o	Reak tor	Media	Keteran gan	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	Kadar air (%)
1	O	Kontr ol	Tanah	75,4	61,5	18,44
2		Cr	Tanah	33,8	30,6	9,47
3		Cr + Glu	Tanah	92,3	78,2	15,28
4	Heli	Kontr ol	Tanah	73,8	61	17,34
			Heli 1	32	7,2	77,50
			Heli 2	108,9	24,6	77,41
5		Cr	Tanah	69,5	55	20,86
			Heli 1	60,3	16,4	72,80
			Heli 2	17,6	13,4	23,86
6		Cr + Glu	Tanah	65,4	55,6	14,98
			Heli 1	33,5	13	61,19
			Heli 2	38,5	24	37,66
7	Impa	Kontr ol	Tanah	49,9	38,8	22,24
			Impa 1	24,8	5,6	77,42
			Impa 2	5	1,6	68,00
8		Cr	Tanah	67,2	49,1	26,93
			Impa 1	79,4	18,8	76,32
			Impa 2	58,9	7,2	87,78
9		Cr + Glu	Tanah	69,6	57,9	16,81
			Impa 1	37,7	24,9	33,95
			Impa 2	5,9	0,7	88,14
10	Zinn	Kontr ol	Tanah	57	50,1	12,11
			Zinn 1	23,1	7,5	67,53
			Zinn 2	36,9	11,3	69,38
11		Cr	Tanah	29,3	20,4	30,38
			Zinn 1	6,9	4,9	28,99
			Zinn 2	14,9	5,8	61,07
12		Cr + Glu	Tanah	98,8	89,2	9,72
			Zinn 1	26,9	9,7	63,94
			Zinn 2	34,2	18,6	45,61
13	Heli Impa	Kontr ol	Tanah	73,8	61	17,34
			Heli 1	35,8	27,1	24,30

N o	Reak tor	Media	Keteran gan	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	Kadar air (%)	
			Heli 2	102,8	50,3	51,07	
			Impa 1	92	23,8	74,13	
			Impa 2	79,4	18,8	76,32	
1 4		Cr	Tanah	69,1	62,3	9,84	
			Heli 1	15,8	10,7	32,28	
			Heli 2	32,5	8,5	73,85	
Impa 1			7,7	1,2	84,42		
Impa 2			82,8	22	73,43		
1 5			Cr + Glu	Tanah	63,7	44,3	30,46
				Heli 1	48,6	23,9	50,82
	Heli 2	82,9		46	44,51		
	Impa 1	1,5		1	33,33		
	Impa 2	5,9		2,4	59,32		
1 6	Heli Zinn	Kontr ol	Tanah	98,1	83,8	14,58	
			Heli 1	141,1	63	55,35	
			Heli 2	23,7	12,2	48,52	
Zinn 1			7,3	4,8	34,25		
Zinn 2			36,9	11,3	69,38		
1 7		Cr	Tanah	31,2	26,5	15,06	
			Heli 1	54,1	19,7	63,59	
			Heli 2	49,1	14,6	70,26	
			Zinn 1	7,5	5,4	28,00	
			Zinn 2	5,4	4,2	22,22	
1 8	Cr + Glu	Tanah	82,6	72,7	11,99		
		Heli 1	87,6	43,8	50,00		
		Heli 2	14,8	6,4	56,76		
		Zinn 1	4,7	2,4	48,94		
		Zinn 2	27	5,6	79,26		
1 9	Impa Zinn	Kontr ol	Tanah	70,2	56,7	19,23	
			Impa 1	45,6	10,1	77,85	
			Impa 2	22,1	3,5	84,16	
			Zinn 1	28,1	6,3	77,58	
			Zinn 2	13,6	6,3	53,68	
2 0		Cr	Tanah	51,5	33,8	34,37	
			Impa 1	50,5	6,8	86,53	
			Impa 2	24	3,6	85,00	

N o	Reak tor	Media	Keteran gan	Berat Basah (gram)	Berat Kering (gram)	Kadar air (%)
			Zinn 1	18,3	10,3	43,72
			Zinn 2	8,4	4,4	47,62
2 1		Cr + Glu	Tanah	74,8	67,4	9,89
			Impa 1	20,1	10,5	47,76
			Impa 2	28,4	22,3	21,48
			Zinn 1	4,3	2,1	51,16
			Zinn 2	40,5	19,9	50,86
2 2	Heli Impa Zinn	Kontr ol	Tanah	56,3	48,2	14,39
			Heli 1	51	25,6	49,80
			Heli 2	207,4	74,6	64,03
			Impa 1	41	10	75,61
			Impa 2	16,6	5,9	64,46
			Zinn 1	47,8	13,7	71,34
			Zinn 2	4,4	3,2	27,27
2 3		Cr	Tanah	45,4	40,1	11,67
			Heli 1	22,7	18,4	18,94
			Heli 2	138,7	62	55,30
			Impa 1	25	10,8	56,80
			Impa 2	15,7	2,1	86,62
			Zinn 1	18,3	10,3	43,72
			Zinn 2	14,9	4,3	71,14
2 4		Cr + Glu	Tanah	61,4	55	10,42
			Heli 1	24,4	16,2	33,61
			Heli 2	7,9	4,9	37,97
			Impa 1	17,7	6,4	63,84
			Impa 2	34,8	23,3	33,05
			Zinn 1	29,5	9,6	67,46
			Zinn 2	16,9	7,1	57,99

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN VIII Hasil Uji AAS

BALAI PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
LABORATORIUM
PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
SURABAYA – JAWA TIMUR



REPORT

Certificate of Analysis

No : 07080/KI/VI-2018
Code : Penelitian
Sample Sender : Pns. TL ITS Surabaya
Sample Name : A i r - Cr
Test : Cr
Sample Brand :
Sample Identity : Cairan keuh
Sample Accepted : 30 Mei 2018

Chemical laboratory test result is :

Kode	Cr, ppm	Kode	Cr, ppm
19D	0,02	4B	0,02
9A	13,10	5A	14,05
6A	15,19	12A	11,08
22G	0,01	18A	10,88
22A	11,18	6B	17,16
16A	0,05	7A	0,05
19C	8,51	7CII	12,42
21A	10,04	12B	0,03
13A	0,01	7C	0,01
4B	0,01	18B	9,08
6 C	0,15	13D	0,03
16D	0,04	24A	10,52
16B	8,12	10A	15,12
10b	-	16B	0,03
12G	7,95	1A	0,02
12C	9,15		
83	10,18		

Surabaya, 4 Juni 2018
Head of Chemical Laboratory Researcher

Drs. M. Fatoni, M.S.

Laboratory Office Jl. Ketintang Baru XVII no 14
Telp 08155151337, Bank BCA – Bank Jatim
Surabaya

BALAI PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI

LABORATORIUM



PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI

SURABAYA – JAWA TIMUR

REPORT

Certificate of Analysis

No : 07211/KI/VI-2018
 Code : Penelitian
 Sample Sender : Rhs. N ITS Surabaya
 Sample Name : Air Cr
 Test : Cr
 Sample Brand :
 Sample Identity : Cairan keruh
 Sample Accepted : 4 Juni 2018

Chemical laboratory test result is :

Kode	Cr, ppm	Kode	Cr, ppm	Kode	Cr, ppm	Kode	Cr, ppm
15E	6,10	22B	0,02	9C	3,11	20E	6,11
4A	0,03	20A	9,88	14E	5,88	9B	7,88
22D	0,01	20E	5,82	8C	3,05	26	7,18
15D	2,65	14D	7,90	14B	7,15		
21G	5,96	15C	4,90	23D	7,16		
11A	10,51	25	10,05	24C	3,34		
19B	0,01	24E	0,03	20C	3,18		
11C	3,18	10C	3,88	19E	0,02		
22E	0,01	24B	7,01	17C	3,90		
5A	11,15	23E	5,67	5B	7,58		
13C	0,03	5C	3,76	2A	0,83		
23F	5,90	22F	0,02	18E	6,11		
24D	8,10	21C	3,51	24F	5,98		
22E	0,03	24G	6,15	4B	6,90		
27	9,91	23A	9,60	17B	7,15		
22C	0,01	30	8,99	23B	8,01		
16C	4,16	21D	8,65	17E	5,82		
20B	7,81	17A	9,26	14A	10,52		
15B	6,90	3A	10,18	18C	4,05		
14C	4,52	8A	11,05	17D	7,86		



7 Juni 2018

Head of Chemical Laboratory Research

Drs M. Fatoni, M.S.

Laboratory Office Jl. Ketintang Baru XVII no 14
 Telp 08155151337, Bank BCA – Bank Jatim
 Surabaya

BIOGRAFI PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Adzalia Andarista Utomo lahir di Lumajang pada tanggal 17 April 1996. Penulis mengenyam pendidikan dasar pada tahun 2002-2008 di SDN Ditotrunan I Lumajang. Kemudian dilanjutkan di SMPN 1 Lumajang pada tahun 2008-2011. Adapun pendidikan tingkat atas dilalui di SMAN 2 Lumajang pada tahun 2011-2014. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, ITS, Surabaya pada Tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 03211440000087.

Selama perkuliahan, penulis aktif sebagai panitia di berbagai kegiatan BEM ITS, HMTL dan aktif sebagai asisten praktikum Remediasi Badan Air dan Pesisir. Semasa kuliah, penulis terdaftar sebagai pengurus aktif Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) ITS, Surabaya. Penulis berkontribusi sebagai Staf Kominfo HMTL periode kepengurusan 2015-2016 dan sebagai Kepala Bidang *Creative Campaign* pada periode kepengurusan 2016-2017, serta sebagai Reporter Vivat Press BEM ITS periode 2016-2017. Penulis telah melakukan kerja praktik di PT Pertamina RU VI Balongan pada tahun 2017. Selain itu penulis juga pernah berpartisipasi dalam berbagai pelatihan serta seminar di bidang teknik lingkungan juga telah diikuti dalam rangka pengembangan diri. Penulis dapat dihubungi via email adzaliau@gmail.com



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)

Periode: Genap 2017/2018

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu 02-Mei-18

Nilai TOEFL 500

Pukul 14.00-15.00

Lokasi TL 102

Judul : Fitoremediasi Tanah Tercemar Kromium (Cr) Menggunakan Campuran Tumbuhan

Nama Adzalia Andarista Utomo

Tanda Tangan

NRP. : 03211440000087

Topik : Penelitian

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir
	<p>- Untuk nama pengarang</p> <p>- Bahan lebih dari 1 hbl menggunakan</p> <p>akumulasi. hbl bisa dipad 1 hbl</p> <p style="text-align: right;">/</p>

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing

Prof.Dr. Ir Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScES



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FTLK-ITS
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928367

UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR

Periode: Ganjil 2017/2018

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Kamis, 05 Juli 2018

Pukul : 15.00 - 17.00 WIB

Lokasi : TL-102

Judul : FITOREMEDIASI TANAH TERCEMAR KROMIUM MENGGUNAKAN CAMPURAN TUMBUHAN

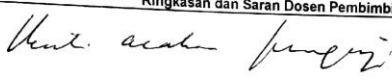

Nilai TOEFL 490

Nama : ADZALIA ANDARISTA UTOMO

NRP. : 03211440000087

Topik : Penelitian

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
	  22/7-2018

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MscES





ITS
Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

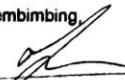
FORM FTA-05

FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

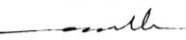
Nama : Adzalia Andariستا Utomo
NRP : 03211440000027
Judul Tugas Akhir : Fitoremediasi Tanah Tercemar Kromium (Cr) Menggunakan Campuran Tumbuhan

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1	Pustaka tentang mekanisme fitoremediasi tanah tercemar Cr	- Halaman 2.
2	Grafik diberikan satuan pada absis dan ordinat	- Telah ditambahkan.
3	Penjelasan % hidup tumbuhan 0%	- Halaman 32.
4	Tambahan pustaka mekanisme fitoremediasi dan penelitian terdahulu.	- Halaman 10
5	Perbaiki abstrak.	- Halaman i
6	Bab 4 bahas penurunan Cr pada single, mix 2 dan mix 3, bahas juga untuk masing-masing tumbuhan.	- Halaman 50.
7	Kesimpulan diperjelas	- Halaman 56
8	ppm → ppmV	- sudah diganti
9	Grafik CO ₂ → penambahan, kecepatan	- sudah diperbaiki.

Dosen Pembimbing,


Prof. Dr. Ir. Sanud K. Mangkoedihardjo, M. C.E.S

Mahasiswa Ybs.,


Adzalia Andariستا Utomo



ITS

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Adzalia Andarista Utomo
NRP : 0321144000087
Judul Tugas Akhir : Fitoremediasi Tanah Tercemar Cr Menggunakan Campuran Tumbuhan .

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	20/2/2018	- Konsentrasi untuk Range Finding Test - Waktu RFT.	
2.	7/3/2018	- Hasil RFT - Persiapan penelitian utama = Metode pengukuran CO_2 . - Metode analisa sisa Cr .	
3.	25/3/2018	- Parameter . - Penelitian utama - Media tanam .	
4.	23/4/2018	- Hasil penelitian utama	
5.	29/4/2018	- Revisi pembahasan hasil penelitian .	
6.	29/5/2018	- Destruksi sampel tumbuhan & tanah .	
7.	3/6/2018	- Approval sampel dan lab uji AAS . - Revisi laporan , kelengkapan borang .	
8.	7/6/2018	- Hasil lab	

Surabaya,
Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Sardoko Mangkoedihardjo, MScES

